

L'adaptation au changement climatique en région wallonne : Fiche thématique	
Thème	Forêt
Fiches en lien	Biodiversité – Eau
Rédacteur	Frisson Gwenn, Monty Arnaud & Mahy Grégory (Unité Biodiversité et Paysage – Ulg-GxABT)

1 Messages clés

- Les changements attendus sont importants mais difficiles à quantifier. Seules des tendances peuvent être dégagées.
- Pour le domaine de la forêt, il est d'autant plus nécessaire d'anticiper les effets du changement climatique dès maintenant, étant donné la longévité importante des arbres forestiers.
- Favoriser l'adaptation naturelle et augmenter la résilience au changement de la forêt peut se faire au moyen d'une sylviculture plus durable et plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème forestier. Diminuer les menaces d'ordre non climatique participe également à cela.
- La forêt ne doit pas seulement se mesurer en termes de valeur intrinsèque mais également en termes de services écosystémiques.

2 Bibliographie wallonne

Principaux travaux existants sur le thème et son lien au changement climatique pour la Wallonie et/ ou la Belgique ou des territoires proches et similaires :

- DNF et FUSAGx – groupe de travail régional « forêts et changement climatique » : « Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires. »
- IBGE, UCL et FUSAGx : La forêt de Soignes face au changement climatique
- INRA et ONF : « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques » (France)
- Projet CARBOFOR (France)
- Revue forestière française, numéro spécial : Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture
- Quelles forêts en France en 2100 ? (INRA)
- Evoltree : réseau d'excellence européen sur l'évolution des arbres face aux changements climatiques, coordonné par l'INRA (<http://www.evoltree.eu/>)
- Rapport STORMS (Commission européenne)
- LIVRE VERT concernant la protection des forêts et l'information sur les forêts dans l'Union européenne: préparer les forêts au changement climatique
- Projet COST ECHOES (Expected Climate cHange and Options for European Silviculture)

3 Les principales caractéristiques régionales

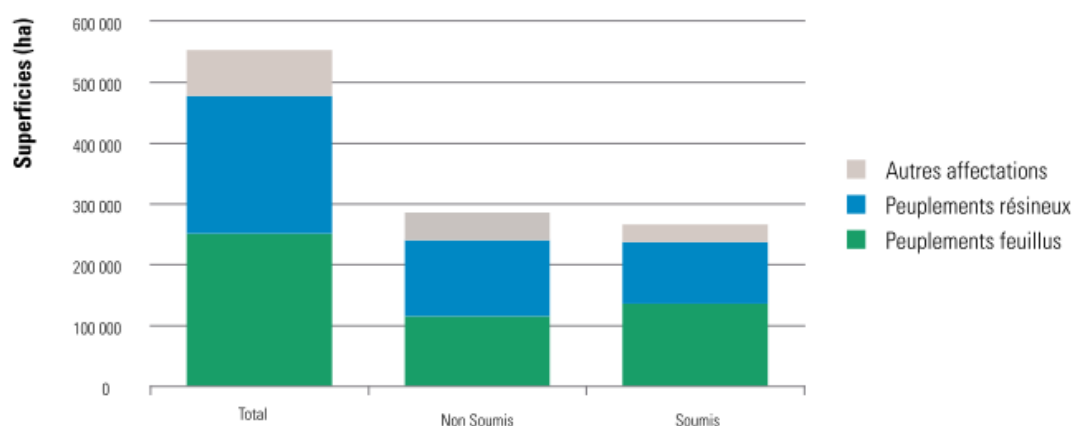
(d'après Lecomte *et al.* 1999 et Laurent et Lecomte 2007a)

La forêt occupe près de 33% du territoire en Wallonie (553 009 hectares) (d'après IPRFW¹) dont :

- 266 755 hectares sont situés en forêt publique, soumise au régime forestier et gérée par le Département de la Nature et des Forêts (DNF) ;
- 286 254 hectares sont situés en forêt privée, non soumise au régime forestier et gérée par les propriétaires en respect de la législation en vigueur.

Les forêts soumises appartiennent à la Région wallonne (21,5%), aux provinces (0,6%), aux communes (72,5%) et à divers organismes publics dont CPAS et Fabriques d'églises (5,3%).

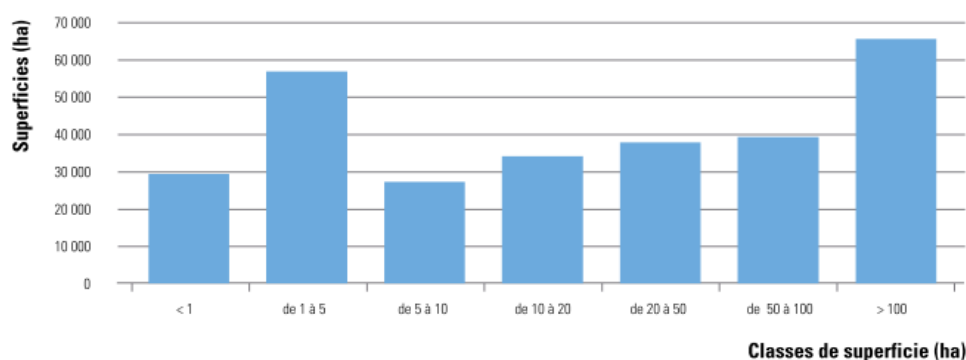
Figure 1 : Répartition des superficies forestières par type de propriété en Région wallonne, entre 1994 et 2005 (Laurent & Lecomte 2007a d'après MRW – DGRNE – DNF (IPRFW et statistiques internes))



La surface forestière comprend les peuplements et les autres affectations (voiries, rivières, zones ouvertes non boisées, etc.). Au niveau des peuplements, la proportion de résineux et de feuillus est de respectivement 47,4% et 52,6%.

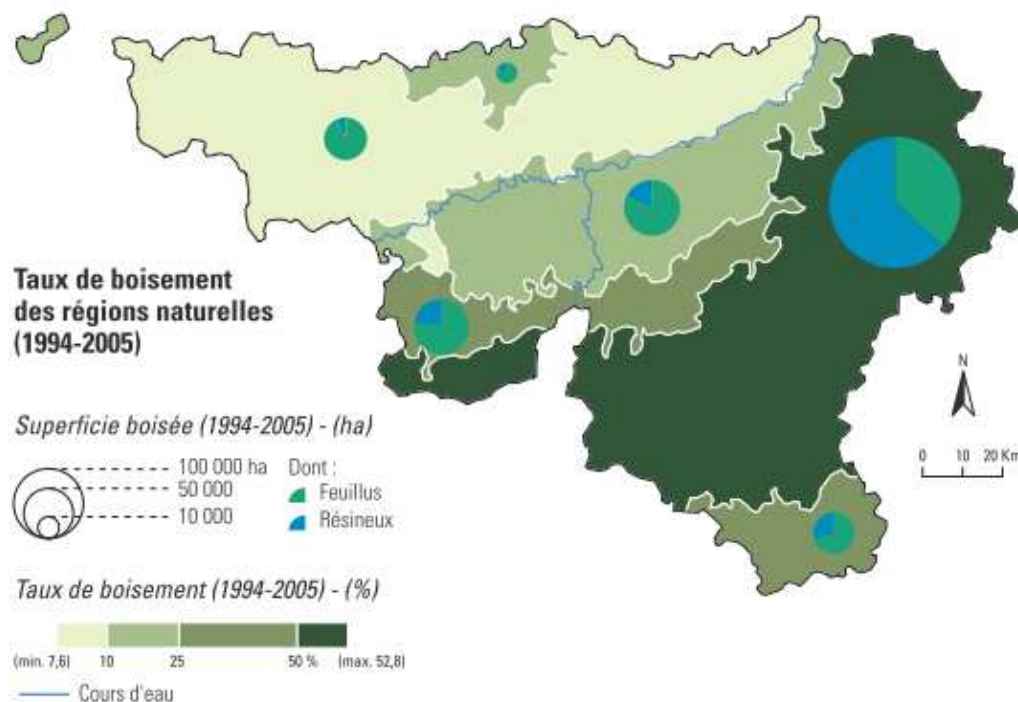
La taille de la majorité des bois soumis est relativement appréciable et permet une gestion assurant une régularité dans l'espace et dans le temps des travaux forestiers. A contrario, **le morcellement de la forêt privée est très élevé et s'accroît de plus en plus** : le nombre de propriétés augmente de 10% tous les dix ans. En 2007, 70% des propriétés faisaient moins d'un hectare de surface. Cet état de fait rend l'organisation des travaux et des coupes difficile.

Figure 2 : Superficies des forêts privées en Région wallonne en 2000 (Laurent & Lecomte 2007a d'après MRW – DGRNE – DNF)



¹ Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (voir <http://environnement.wallonie.be/dnf/inventaire/>)

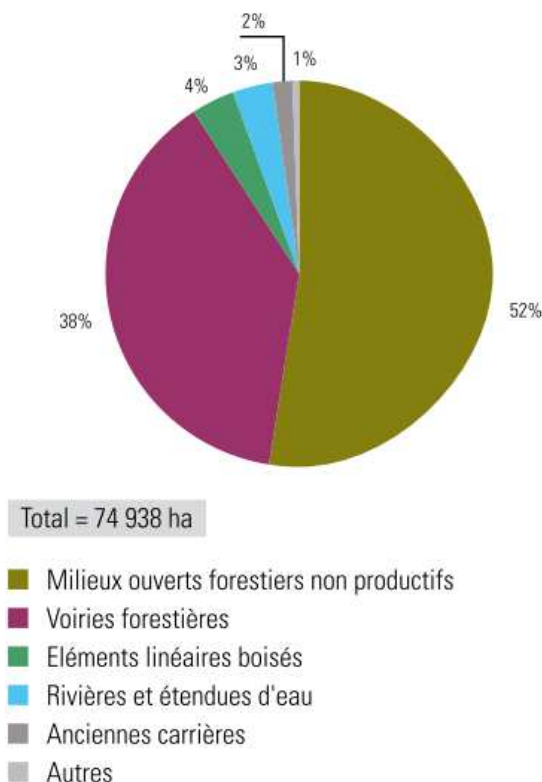
Carte 1 : Taux de boisement des régions naturelles (Laurent & Lecomte 2007a d'après MRW-DGRNE-IPRFW)



Les peuplements principaux présents en Wallonie sont les pessières, les chênaies, les hêtraies, les feuillus nobles, les pineraies et les douglasaies. **Les superficies des pineraies, mélèzières et pessières sont en diminution, au profit des peuplements de douglas et des mélanges épicéa-douglas**, qui prennent une part de plus en plus importante des plantations.

Les espaces non productifs gagnent également du terrain : ils occupaient 43 700 hectares il y a 20 ans et en occupent maintenant 75 000. Les éléments ouverts, qui augmentent l'intérêt potentiel pour la faune et la flore, en constituent plus de la moitié.

Figure 3 : Zones forestières non productives en Région wallonne (Laurent & Lecomte 2007a d'après MRW-DGRNE-IPRFW)



3.1 Fonctions de la forêt

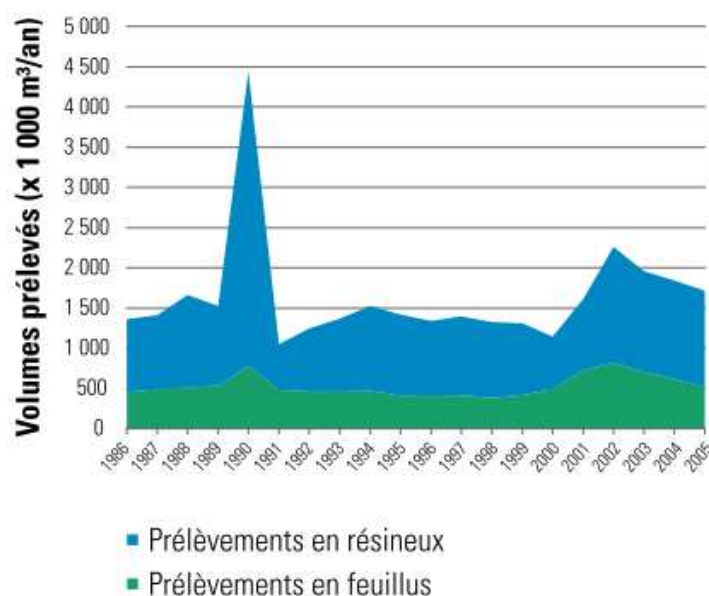
Actuellement, c'est de plus en plus souvent une **conception multifonctionnelle de la forêt** qui est envisagée, en lien avec une gestion durable. En Wallonie, les fonctions de la forêt peuvent être classées en deux grands types :

- **Fonctions « utilisation »**
 - production de bois
 - production de produits forestiers non ligneux (PFNL)
 - récréation (promenade, chasse, etc.)
- **Fonctions écosystémiques**
 - réservoir de biodiversité
 - régulation du climat et du régime des eaux, protection des sols, contribution à la qualité de l'air et de l'eau

3.1.1 Production de bois

L'essentiel de la production belge de bois et produits dérivés est assurée par la Région wallonne (Laurent & Lecomte 2007a).

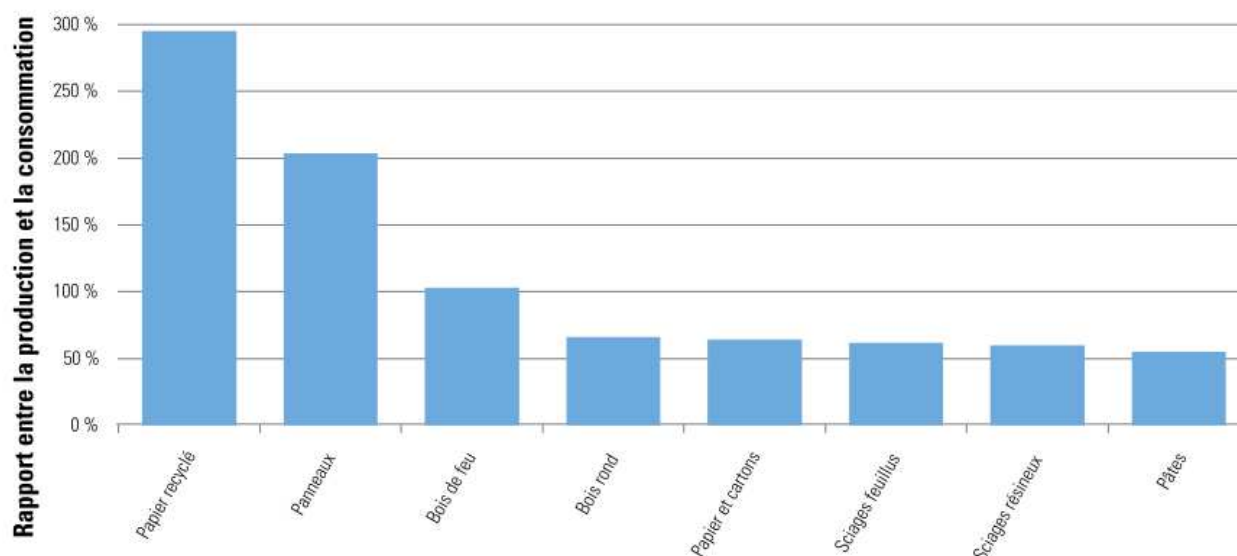
Figure 4 : Volumes annuels de bois prélevés en forêt soumise, en Région wallonne (Laurent et Lecomte 2007a). Le pic de prélèvements dans les années autour de 1990 est lié aux tempêtes qui ont eu lieu cette année-là (voir encart page 8)



Source : MRW – DGRNE – DNF (statistiques internes)

La forte densité de la population belge (6 ares de forêt par habitant) fait que **moins de 50% de la consommation belge est couverte par la production intérieure**. Un excès de production ne se présente que pour le papier recyclé et les panneaux (Laurent et Lecomte 2007a).

Figure 5 : Potentiel d'auto-apvisionnement pour la production de bois et produits dérivés en Belgique, entre 1999 et 2003 (Laurent et Lecomte 2007a)



Source : Commission économique pour l'Europe des Nations unies

3.1.2 PFNL

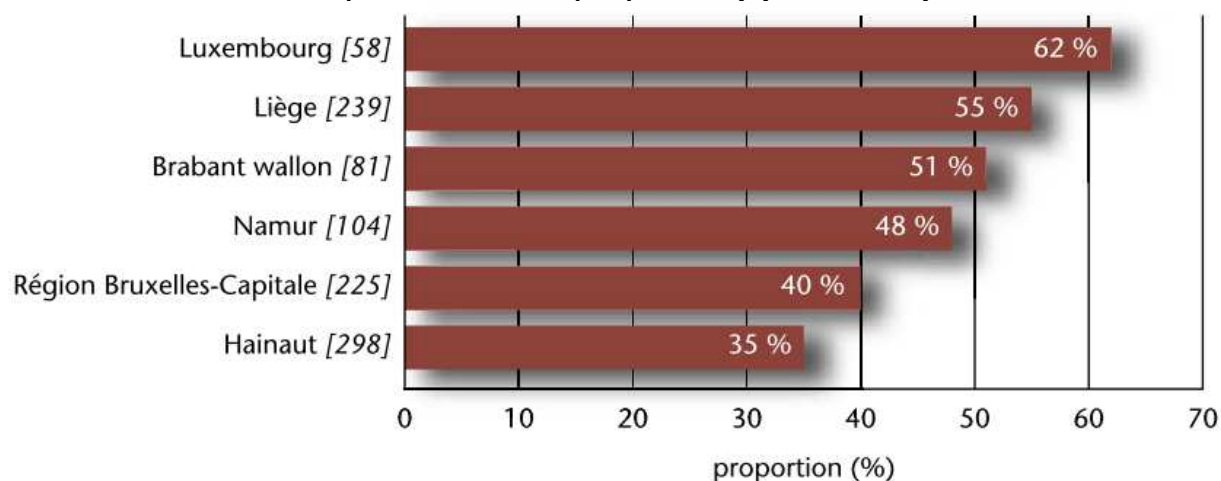
Les produits forestiers non ligneux les plus courants dans nos régions sont les champignons, les fleurs (jonquilles, muguet, jacinthes, etc.) et les fruits (myrtilles, mûres, châtaignes, etc.). Il n'existe actuellement pas d'estimation de la quantité de ces produits récoltée en forêt. Une enquête (Colson 2006) a cependant observé le pourcentage de personnes qui fréquentent la forêt et déclarent récolter occasionnellement les produits suivants:

- des fruits : 30%,
- des champignons : 33%,
- des fleurs : 27%.

3.1.3 Récréation

En Wallonie, la densité importante de population et le taux élevé d'urbanisation entraînent une **fréquentation importante des massifs forestiers**. Lors de l'enquête réalisée par Colson (2006), 45% des personnes ont déclaré s'être rendues en forêt au cours des douze derniers mois pour des raisons récréatives : promenade, observation de la faune et de la flore, vélo, pique-nique, sports de neige, mouvements de jeunesse, équitation, etc.

Figure 6 : Proportion de la population allant en forêt en fonction de la province de résidence (en italique, l'effectif total par province) (Colson 2006)



Quant à la chasse, elle représente 17,4% du revenu brut des forêts soumises. Cette proportion est en augmentation régulière (Laurent & Lecomte 2007b).

3.1.4 Fonction biodiversité

La forêt wallonne présente **un grand potentiel d'accueil pour nombre d'espèces animales et végétales**.

Tableau 1 : Richesse de la flore et de la faune forestière en Wallonie

Groupe taxonomique	Nombre d'espèces forestières	Référence
Lichens épiphytes	354	Diederich & Sérusiaux (2000)
Arbres indigènes	64	Branquart et al. (2003)
Carabes (Carabidae)	47	SIBW ² (2003)
Papillons (Rhopalocères)	48	SIBW (2003)
Syrphes saproxyliques (Syrphidae)	52	Speight et al. (2000)
Autres syrphes	105	Speight et al. (2000)
Oiseaux	77	SIBW (2003)
Mammifères	42	SIBW (2003)

Ce sont surtout les massifs forestiers feuillus qui présentent un potentiel biologique important. Les choix en matière de gestion forestière conditionnent la biodiversité. En effet, cette dernière tend à augmenter avec le nombre d'espèces ligneuses et avec le degré de stratification de la végétation (Branquart et al. 2007).

Les arbres âgés et le bois mort présentent un intérêt biologique élevé. Différents micro-habitats important pour les espèces *saproxyliques* peuvent s'y former : cavités, écorces crevassées, branches mortes, etc.

Les lisières constituent également des zones de grand intérêt en offrant des ressources abondantes pour la faune et la flore. La majorité des lisières externes aux massifs forestiers sont très abruptes, sans cordon et/ou ourlet herbacé, ce qui limite leur intérêt pour la vie sauvage. Leur capacité d'accueil est relativement faible par rapport à ce qu'elle pourrait être. Enfin, les milieux ouverts intra-forestiers présentent également un grand intérêt biologique (gagnages, coupe-feux, surfaces en régénération, etc.) (Branquart et al. 2007).

3.1.5 Régulation du climat et du régime des eaux, protection des sols, contribution à la qualité de l'air et de l'eau

Cette dernière catégorie comprend diverses fonctions. **La forêt joue un rôle dans la protection des sols en pente contre l'érosion et les glissements de terrains**. Elle joue également un grand rôle dans la **protection des eaux** : elle favorise le réapprovisionnement des nappes et la filtration et participe à la régulation du débit des cours d'eau. Enfin, elle fait fonction de **puits de carbone et de filtre par rapport aux poussières et aux particules fines** contenues dans l'air (Laurent & Lecomte 2007b).

² Serveur d'Informations sur la Biodiversité en Wallonie : <http://biodiversite.wallonie.be>

4 Les vulnérabilités actuelles et les paramètres climatiques

Sept menaces principales pesant sur la forêt wallonne ont été identifiées :

- les **aléas climatiques**,
- les **pullulations**,
- les surdensités de **gibier (grands ongulés sauvages)**,
- les **modifications des conditions physico-chimiques de l'environnement**,
- les **invasions**,
- la **surexploitation d'espèces**,
- la **surfréquentation**.

Ces menaces sont explicitées dans les paragraphes ci-dessous. La vulnérabilité de la forêt à ces menaces varie fortement selon la fonction considérée de la forêt

4.1 Les menaces

4.1.1 Les aléas climatiques

7% des peuplements présentent des dégâts causés par des événements météorologiques, dont principalement les tempêtes mais également le givre et les neiges collantes. Le pourcentage de peuplements atteints par ce type de dégâts est plus élevé en résineux (en particulier en épicéas) et en hêtres. Les caractéristiques propres des espèces, comme un enracinement superficiel et une forme élancée, en sont la cause, ainsi que les sols dans lesquels elles sont plantées (Laurent & Lecomte 2007c).

Les tempêtes de 1990

En Belgique, les tempêtes de 1990 ont affecté quelques 20 000 ha, principalement en épicéas. Les volumes des arbres cassés et abattus par le vent ont été estimés à plus ou moins 11 millions de m³ pour les pessières et à plus de 700 000 m³ en feuillus (Laurent & Lecomte 2007c).

La résistance des arbres aux pathogènes et aux ravageurs est influencée par les épisodes climatiques, comme un stress hydrique prolongé ou un épisode de canicule (Laurent & Perrin 2008). Par exemple, les insectes xylophages présentent un succès accru après un déficit hydrique important. A contrario, les défoliateurs semblent bénéficier d'un déficit hydrique modéré ou intermittent (Rouault *et al.* 2006).

Les sécheresses sévères et répétées contribuent fortement aux dépérissements et à la mortalité forestière en Europe. Des désordres physiologiques sont induits à court terme par la sécheresse, ce qui nécessite la mobilisation de substances de réserve. **Ces désordres rendent les arbres plus vulnérables à des stress secondaires** comme les attaques d'insectes, le gel ou une autre sécheresse. L'ensemble de ces processus provoque une réponse sur plusieurs années, qui peut mener à un dépérissement, voire à une mort (Laurent & Perrin 2008).

Précisons que les aléas climatiques ne doivent pas toujours être considérés comme une menace, selon la fonction considérée de la forêt. En effet, **les perturbations peuvent être considérées comme faisant partie intégrante du cycle de l'écosystème forestier et ne sont pas une menace pour la diversité biologique en forêt**. Elles sont même bénéfiques à la biodiversité car elles créent de nouveaux habitats et dynamisent les cycles. **A contrario, pour la production de bois, les aléas climatiques constituent une menace puisqu'ils peuvent mener à une perte de volume et de qualité technologique importante**.

4.1.2 Les pullulations

La menace nommée « pullulations » concerne les parasites et les maladies. Par opposition aux invasions, il s'agit ici d'organismes indigènes ou présents chez nous par une expansion naturelle de leur aire de distribution.

Elle concerne les insectes défoliateurs, les insectes lignivores et les champignons.

Environ 20 000 ha de forêts en Wallonie présentent des dégâts d'insectes et/ou de champignons sur plus de 25% des arbres. Ces dégâts sont souvent consécutifs à des événements climatiques particuliers (Laurent & Lecomte 2007c).

La phénologie des insectes et leur nombre de générations par an est liée au climat. En Belgique, *Ips typographus* présente généralement deux générations par an avec parfois des années exceptionnelles où trois générations se succèdent (Laurent & Perrin 2008).

Le problème des scolytes en hêtraie est principalement observé dans les régions de l'Ardenne et de la Lorraine (Laurent & Lecomte 2007c).

Précisons que **les pullulations sont à envisager comme une menace vis-à-vis de la production de bois. Par contre, si l'on envisage le fonctionnement de l'écosystème forestier, les pullulations sont des phénomènes naturels et passagers**, qui restent imprévisibles dans une large mesure (Leclercq 1971). Chaque développement important de population est suivi d'une rétrogradation brutale de son effectif. S'ensuit alors une période de latence de durée variable selon les espèces et durant laquelle l'effectif de la population est peu élevé (Abgrall et al. 1991).

Pullulations de scolytes³

En 1992, une importante pullulation de scolytes s'est produite. Près de 250 000 m³ de bois ont été touchés, ce qui correspond à une perte économique de 6 250 000 € (Source : MRW-DGRNE-DNF 1996). Cette pullulation a peut-être été favorisée par l'affaiblissement des peuplements suite aux tempêtes de 1990.

EN 2001, une pullulation de scolytes a atteint près de 1,5 millions de m³ de hêtre (quasiment 20% du volume de bois présent en forêt) (Laurent & Lecomte 2007c).

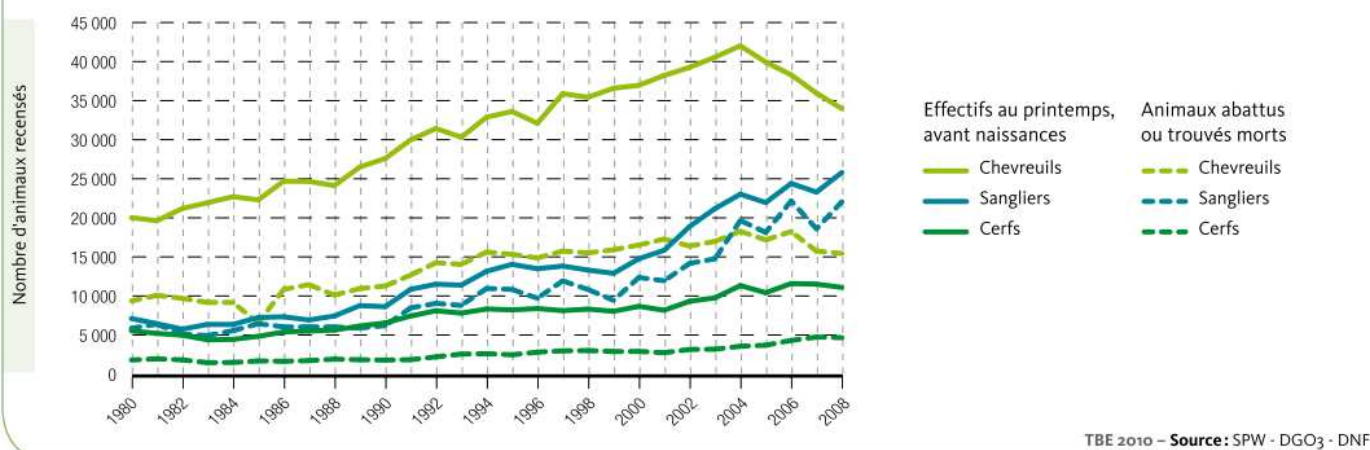
4.1.3 La surpopulation de gibier

Les populations de grands ongulés ont fortement augmenté au cours des dernières décennies, aboutissant à des **surdensités de grand gibier en Wallonie** : l'effectif de sangliers a triplé tandis que ceux des chevreuils et cerfs ont doublé depuis 1980 (Laurent & Lecomte 2007c). Ces importantes populations de gibier sont principalement dues à la gestion cynégétique, qui tend à maintenir les surdensités en faveur de la chasse. Pour rappel, la chasse représente 17,4% du revenu brut des forêts soumises (Laurent & Lecomte 2007b), du fait de l'indexation des loyers pour les baux de chasse en cours et d'une tendance à la hausse lors des relocations, alors que le revenu du bois est conditionné par les prix du marché international. La valeur des services environnementaux n'est pas encore intégrée dans ces calculs, mais le sera à moyen terme.

³ Les scolytes adultes pondent sous l'écorce. Les larves se développent ensuite à cet endroit. Les galeries creusées par les scolytes peuvent empêcher la sève de circuler et finir par tuer l'arbre (Anonyme 2005). Les scolytes du hêtre sont des xylophages, qui creusent des galeries dans le bois qui est ainsi altéré.

Figure 7 :

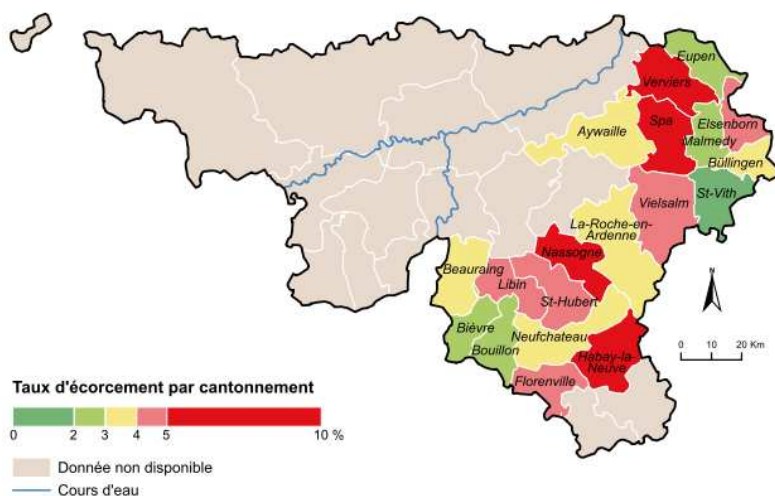
Estimations des populations d'ongulés sauvages en Région wallonne



L'épicéa et les peuplements résineux sont particulièrement touchés par les dégâts occasionnés par le gibier aux troncs (écorcements et frotures). C'est donc **la région de l'Ardenne** qui **est la plus concernée par ce problème**. Par ailleurs, l'ensemble des peuplements subit des dommages aux arbres et à la régénération. Selon l'inventaire forestier wallon (IPRFW), 17% des peuplements présentaient des dégâts de gibier entre 1994 et 2008, ainsi que 30% des surfaces en régénération naturelle et 30% des plantations (TBE⁴ 2010).

Carte 2 :

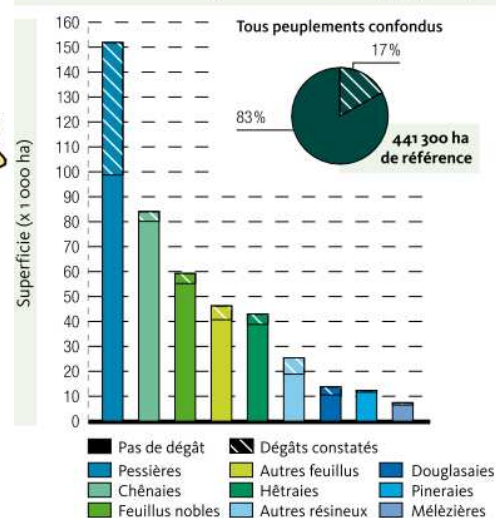
Dégâts d'écorcement occasionnés par les ongulés sauvages aux peuplements résineux (2008)



TBE 2010 – Source : SPW - DGO3 - DNF (Inventaire des dégâts d'écorcement)

Figure 8 :

Estimation des dégâts* occasionnés par les ongulés sauvages aux peuplements forestiers en Région wallonne (1994-2008)



* écorcement, abrutissement, frotture et broutis

TBE 2010 – Source : SPW - DGO3 - DNF (IPRFW)

De plus, les impacts des densités importantes de grands ongulés peuvent être importants sur la biodiversité. Ils rendent difficile l'introduction de feuillus et la diversification des espèces en peuplements résineux. Une surdensité peut amener une diminution de la diversité du tapis herbacé, au profit de quelques espèces qui résistent au pâturage (canche flexueuse, laïches, fougère aigle, etc.) (Godin & Libois 2007).

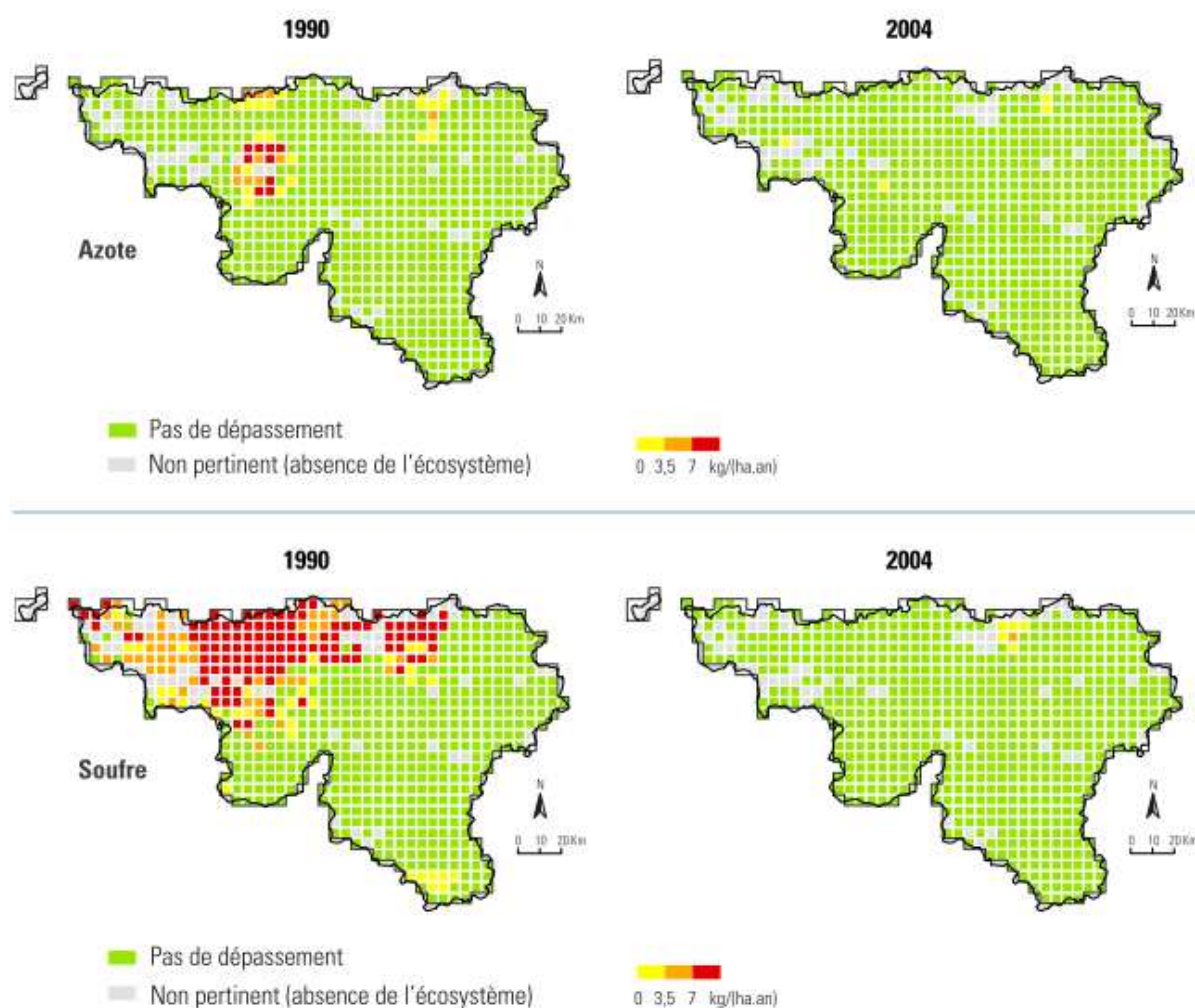
⁴ Tableau de Bord de l'Environnement wallon

4.1.4 Les modifications des conditions physico-chimiques de l'environnement

L'eutrophisation est certainement la modification des conditions physico-chimiques de l'environnement la plus importante à l'heure actuelle (voir paragraphe ci-dessous).

Les **composés acidifiants**, dont on parlait beaucoup il y a quelques années, ont par contre **de moins en moins d'impacts sur la végétation**. En 1990, de nombreux dépassements de la charge critique en acidité étaient observés. En 2004, la quasi-totalité de la Wallonie recevait des apports acides inférieurs à la charge critique. Cette amélioration s'explique principalement par une diminution **des dépôts en composés acidifiants**, dont particulièrement les composés soufrés (Blin et al. 2007).

Carte 3 : Dépassement des charges critiques des écosystèmes forestiers en azote et en soufre acidifiants (Blin et al. 2007)



Sources : MRW-DGRNE-DCE (EEW) ; MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air) ; SITEREM ; ISSeP ; CELINE

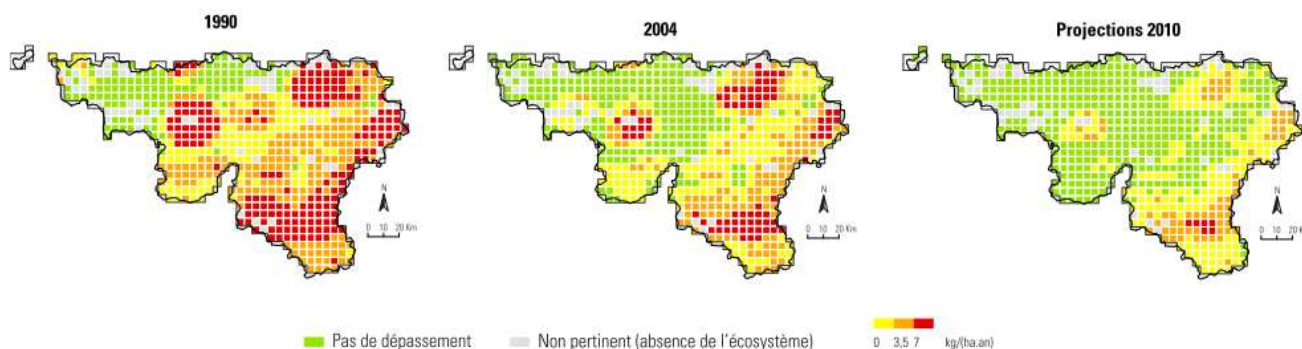
L'enrichissement en azote eutrophisant des écosystèmes naturels et semi-naturels est une des causes majeures de leur dégradation. Un dépassement des charges critiques peut induire une augmentation des quantités de nitrate lixivié vers les eaux, des déséquilibres nutritionnels pour la végétation et une perte de biodiversité liée à la régression des espèces des milieux pauvres au profit des espèces nitrophiles (Rasmont 2006).

L'eutrophisation en azote est causée par les retombées d'azote atmosphérique et par une gestion non adaptée des fertilisants (Rasmont 2005). Les retombées d'azote atmosphérique dépendent des quantités de polluants azotés (NO_x et NH₃) rejetés dans l'atmosphère. Il s'agit

d'une **problématique largement transfrontalière** puisqu'on estime que **50% des quantités d'azote déposées sur la Wallonie** proviennent des rejets des régions et pays voisins (SITEREM)

En 2007, environ 6% des surfaces forestières étaient affectés par des dépôts azotés dépassant la charge critique en azote eutrophisant (TBE 2010). Si les plafonds d'émissions qui ont été attribués à la Région wallonne ont été respectés, trois-quarts des surfaces forestières devaient être protégés de l'eutrophisation liée aux retombées atmosphériques en 2010 (Blin *et al.* 2007). Les retombées azotées excédentaires favorisent le développement d'espèces nitrophiles, ce qui a déjà été observé pour les espèces herbacées en forêt wallonne (Laurent & Perrin 2008). Le dépérissement du hêtre et de l'épicéa est considéré comme résultant principalement d'effets de la pollution acide et azotée de l'atmosphère (Weissen 1990 et 1998).

Carte 4 : Dépassement des charges critiques des écosystèmes forestiers en azote eutrophisant (Blin *et al.* 2007)



Sources : MRW-DGRNE-DCE (EEW) ; MRW-DGRNE-DPA (Cellule Air) ; SITEREM ; ISSeP ; CELINE

Enfin, la modification des conditions physico-chimiques de l'environnement comprend également les **éventuels impacts négatifs que les activités sylvicoles peuvent exercer sur la forêt**, comme :

- **la compaction du sol** par les engins d'exploitation,
- **les mises à blanc**⁵, qui peuvent entraîner des risques d'érosion, de remontées de nappes sur les sols hydromorphes et de minéralisation brutale de la litière (Laurent & Lecomte 2007a).

4.1.5 Les invasions

De plus en plus d'espèces, végétales ou animales, **sont introduites** en-dehors de leur aire de distribution naturelle suite à l'accroissement des échanges commerciaux et de la circulation des biens à travers le monde. La plupart d'entre elles persistent difficilement dans leur aire d'introduction mais quelques une peuvent adopter un comportement beaucoup plus dynamique et sont alors qualifiées d'invasives (Vanderhoeven & Branquart 2007).

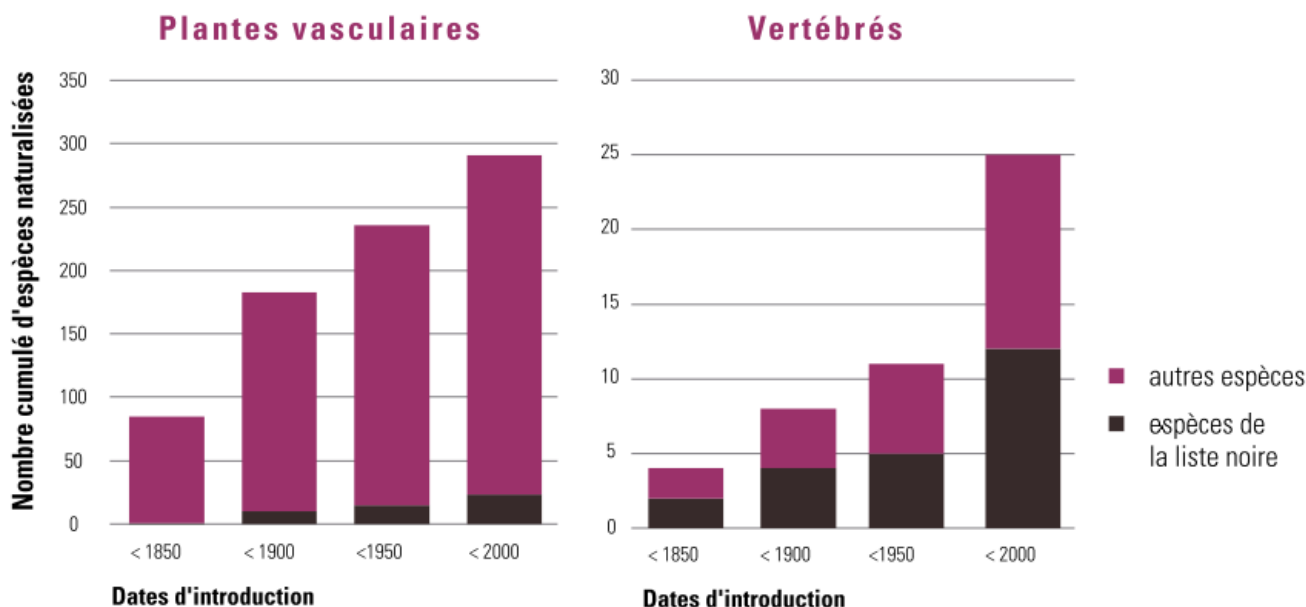
L'**introduction volontaire** de ces espèces est généralement **justifiée par les services potentiels qu'elles peuvent rendre à l'homme** (valeur ornementale, alimentaire, etc.). Toutefois, quand elles deviennent invasives, elles peuvent présenter de nombreux inconvénients. **Les effets négatifs** de ces espèces peuvent être de trois types (Vanderhoeven & Branquart 2007) :

- **Impacts environnementaux** tels que perturbation des successions écologiques, compétition avec les espèces indigènes, altération physique de l'habitat, etc.
- **Impacts socio-économiques** : les espèces invasives peuvent engendrer des coûts liés à la restauration des milieux naturels, à la détérioration des infrastructures, etc.
- **Problèmes de santé publique** : des espèces comme la berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*), abondamment présente en Wallonie, ou l'ambrosie (*Ambrosia*

⁵ Notons toutefois que le nouveau Code forestier (décret du 15 juillet 2008) interdit les mises à blanc de plus de 5 hectares en résineux et de plus de 3 hectares en feuillus.

artemisiifolia), pas encore naturalisée chez nous, peuvent provoquer des problèmes de santé publique (brûlures, allergies).

Figure 9 : Progression du nombre d'espèces exotiques naturalisées⁶ en Région wallonne (Vanderhoeven & Branquart 2007) d'après Verloove 2006 et Forum belge sur les espèces envahissantes 2006, base de données Harmonia).



Actuellement, près de **300 espèces de plantes** ornementales et **30 espèces de vertébrés** d'origine exotique sont naturalisées en Wallonie, dont respectivement 26 et 10 espèces figurent sur la liste noire⁷ des espèces exotiques invasives (TBE 2010).

Un **nombre important d'organismes** qui ne sont pas encore naturalisés en Wallonie sont par contre **déjà installés dans les régions limitrophes et s'installeront très probablement en Wallonie** dans les années à venir (Vanderhoeven & Branquart 2007).

De nombreuses espèces exotiques ont été plantées en forêt à des fins de production de bois. Les plantations les plus massives concernent l'épicéa. Toutefois, depuis les années 60, les surfaces plantées en cette essence diminuent, tandis que les plantations de douglas (autre espèce exotique) et les mélanges douglas-épicéa augmentent. **Ces espèces ont un intérêt positif pour la fonction production de bois**, grâce à leur importante capacité de production. Elles peuvent dans certains cas avoir **un intérêt négatif pour la fonction biodiversité de la forêt**, voire pour les conditions physico-chimiques du milieu (problèmes d'acidification liés à l'épicéa⁸). Ces espèces, qui sont naturalisées dans notre région, peuvent dans certains cas s'étendre spontanément sur des terrains où elles ne sont pas désirées et où elles peuvent poser certains problèmes. Par exemple, les semis d'épicéa peuvent coloniser très rapidement les milieux ouverts d'intérêt conservatoire (milieux tourbeux) ou empêcher la régénération des essences feuillues indigènes par la formation d'un couvert très dense (Equipe LIFE-Tourbières 2007). Le chêne rouge (*Quercus rubra*) et le robinier (*Robinia pseudoacacia*), qui ont été introduits et plantés en Wallonie à des fins de production, sont mentionnées sur la liste de surveillance⁹ des espèces invasives de Belgique.

Au niveau des milieux forestiers, le cerisier tardif (*Prunus serotina*) est par contre considéré comme une nuisance, quelque soit la fonction de la forêt prise en compte.

⁶ Les espèces naturalisées sont des espèces qui ont été introduites par l'homme et qui sont naturalisées mais qui ne présentent pas encore une expansion géographique dans leur aire d'introduction.

⁷ voir ias.biodiversity.be

⁸ Les aiguilles d'épicéas, souvent plantés en monoculture à fortes densités, forment un tapis épais sur le sol, qui se décompose lentement et donne un humus épais et acidifiant.

⁹ <http://ias.biodiversity.be/species/all>

Prunus serotina



Prunus serotina a d'abord été introduit en Europe à titre ornemental, pour sa belle floraison et son feuillage automnal attractif. Il a ensuite été massivement planté dans plusieurs pays, dont la Belgique, à des fins de production de bois. Toutefois, quasiment aucune production de qualité n'a été obtenue chez nous. Les plantations ont malgré tout abondamment continué, à des fins culturelles cette fois (amélioration de la litière, coupe-vent, gagnage, etc.). Il est maintenant considéré comme une des espèces

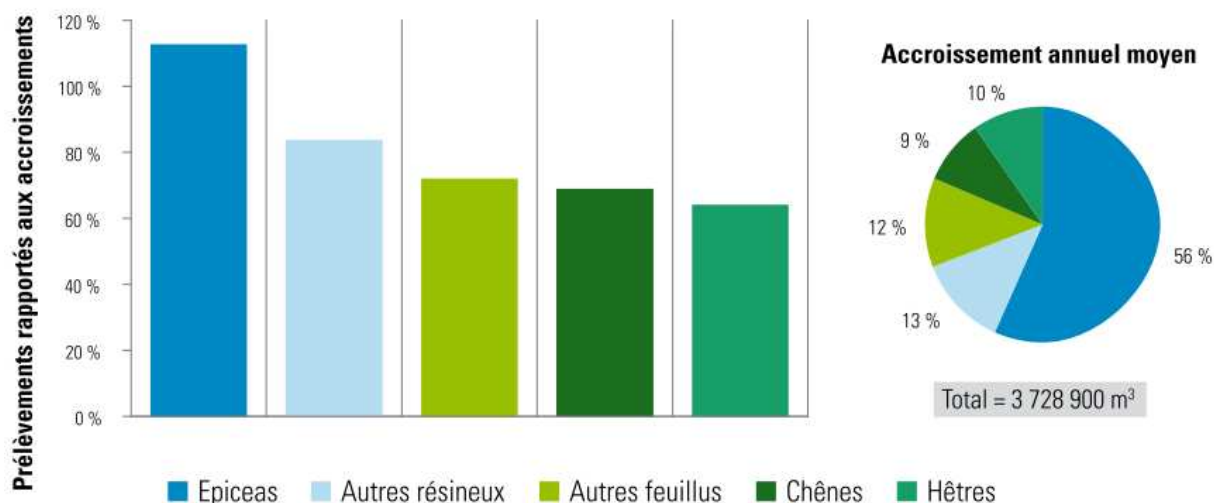
invasives les plus agressives en Europe. Il forme des fourrés denses très compétitifs et peut entraver la régénération des autres essences en forêt et de ce fait, augmenter les coûts de plantations. Il peut également avoir un effet sur la biodiversité en réduisant la richesse spécifique ou en modifiant la composition des communautés floristiques (base de données Harmonia, Jacquemart et al. 2010)

Enfin, l'introduction de certains insectes nuisibles peut également être considérée comme un cas d'invasion. *Xylosandrus germanus*, un scolyte originaire d'Asie, a été introduit accidentellement en Europe. Il a été recensé pour la première fois en Belgique en 1994. Des dégâts causés par cet insecte ont été reportés dans différents pays d'Europe. Il est considéré comme un nuisible potentiel pour les forêts belges (Grégoire 2002, comm. pers. dans Henin & Versteirt 2004).

4.1.6 La surexploitation d'espèces

En Wallonie, **la surexploitation d'espèces ne concerne pas les essences ligneuses**. Les prélèvements de bois sont surveillés de très près et sont actuellement inférieurs aux accroissements. Entre 1995 et 2000, l'accroissement annuel était de 3729 milliers de m³ tandis que les prélèvements annuels atteignaient 3561 milliers de m³. De nouvelles directives qui visent à diminuer la capitalisation ont depuis été mises en place. Par exemple, pour l'épicéa (où les prélèvements sont supérieurs aux accroissements, voir graphe ci-dessous), des coupes importantes ont été pratiquées suite à une période de forte capitalisation, afin de valoriser les peuplements matures (Laurent & Lecomte 2007a).

Figure 10 : Taux annuel moyen de prélèvement de bois en Région wallonne (1995-2000) (Laurent & Lecomte 2007a)



Source : MRW – DGRNE – DNF (IPRFW)

Actuellement, la chasse n'est pas une menace pour le grand gibier en Wallonie. Au contraire, elle est **nécessaire pour réguler les surdensités des populations en forêt** (voir paragraphe 4.1.3), en l'absence de grands prédateurs.

Les espèces qui pourraient être concernées par la surexploitation sont les produits forestiers non ligneux (PFNL), comme certaines espèces de champignons, les jacinthes, etc. La récolte de ce type de produits est actuellement assez réglementée (notamment par le nouveau code forestier).

D'après Colson (2006), respectivement 30%, 22% et 27% des personnes qui fréquentent la forêt déclarent récolter occasionnellement des fruits, des champignons ou des fleurs. Les quantités prélevées ne sont pas connues (Laurent & Lecomte 2007a) et les informations disponibles ne suffisent pas à évaluer l'impact de la récolte sur les populations. Elle n'est certainement pas le facteur de menace le plus important mais peut toutefois contribuer à rajouter une pression sur des populations déjà mises à mal.

4.1.7 La surfréquentation

En Wallonie, **la densité importante de population et le taux élevé d'urbanisation entraînent une fréquentation importante des massifs forestiers** (voir paragraphe 4.1.3).

La surfréquentation des massifs forestiers pourrait constituer une menace envers la fonction récréative de la forêt. En effet, un nombre trop élevé de personnes peut constituer une nuisance par rapport à ce que ces personnes viennent rechercher en forêt : trop de monde et trop de bruit font fuir le gibier qu'un naturaliste est venu observer ou perturbent la tranquillité d'un promeneur à la recherche d'un peu de calme, etc.

4.2 Tableau récapitulatif

La vulnérabilité actuelle de chaque fonction par rapport aux différentes menaces a été synthétisée sous forme d'un tableau. Le niveau de vulnérabilité est évalué sous forme d'une cotation allant de 0 à +++:

- 0 : pas vulnérable
- + : légèrement vulnérable
- ++ : vulnérable
- +++ : très vulnérable

	Fonctions de la forêt	Menaces sur la forêt					
		modifications des conditions physico-chimiques de l'environnement	invasions	pullulation (maladies et parasites)	surdensités de grand gibier	surexploitation	surfréquentation
Fonctions "utilisation"	production de bois	0	0	++	++	0	0
	PFNL	+	0	0	++	+	+
	récréation (dont chasse)	0	0	0	0	0	+
Fonctions écosystémiques	biodiversité	+	++	0	++	+	+
	régulation du climat et du régime des eaux, protection des sols, contribution à la qualité de l'air et de l'eau	+	0	0	0	+	+

5 Les vulnérabilités futures

5.1 Modification des aires de distribution

Une **translation globale des aires de distribution vers le nord et en altitude est prévue** (Usher 2005, Guns & Perrin 2007, Commission Nationale Climat 2008). Concrètement, cela devrait résulter pour la Wallonie en une hausse du nombre d'espèces méridionales et en une baisse du nombre d'espèces des climats froids.

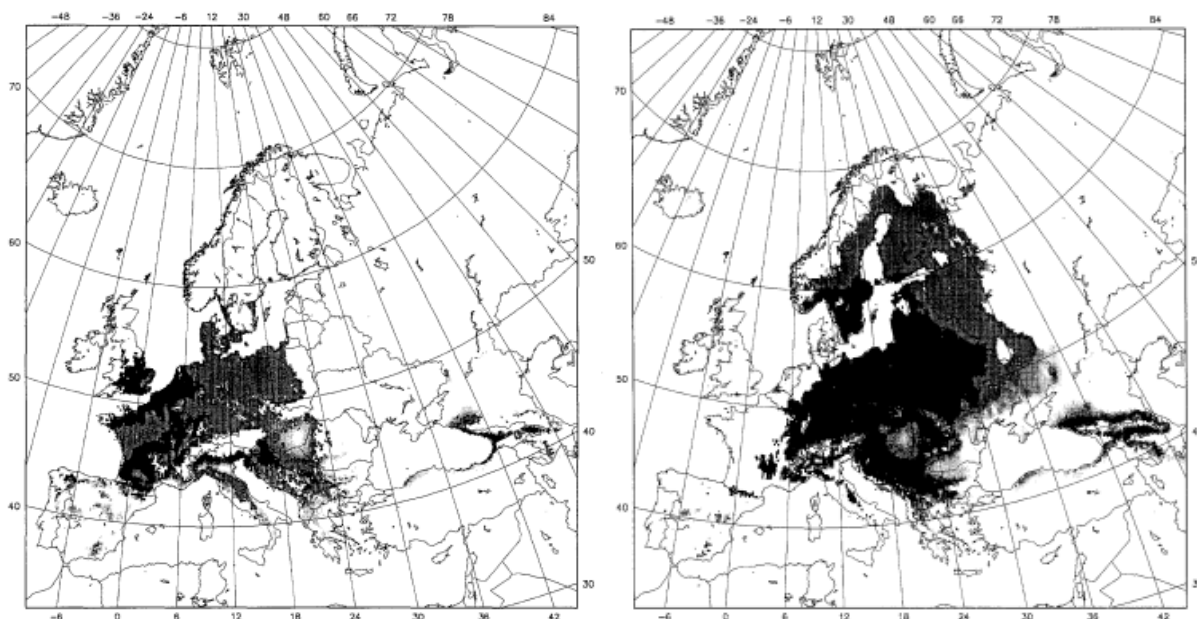
Le hêtre et l'épicéa, deux de nos principales essences de production, ont besoin d'une période de repos végétatif accompagnée de températures faibles. Ils seront dès lors défavorisés par la diminution de la fréquence des hivers froids (Bréda *et al.* 2000, Guns & Perrin 2007). Une exposition plus ou moins longue, selon l'essence, à des températures comprises entre -5°C et 5°C est nécessaire pendant la période de repos pour lever la dormance des bourgeons (Bréda *et al.* 2000).

Des périodes de sécheresse plus fréquentes (voir paragraphe 3.5.3) pourraient également être défavorables au hêtre (National Climate Commission 2010). Sa présence est fortement et négativement corrélée à l'augmentation des déficits pluviométriques cumulés de juin et de juillet (Badeau *et al.* 2007). La régression de son aire devrait avoir des conséquences pour les espèces des hêtraies en général (lichens, champignons, herbacées, etc.).

En général, de tels essais de prévision de la distribution future des communautés définissent les niches climatiques actuelles et cherchent ensuite à déterminer les niches climatiques futures en fonction des scénarios et projections climatiques, comme pour le hêtre en Figure 11. **En réalité, la modification des aires de distribution sera probablement beaucoup plus complexe qu'une simple translation vers le nord** (Usher 2005). De larges incertitudes pèsent sur la prévision des aires de distribution futures. Ces incertitudes proviennent de différentes lacunes dans la connaissance des facteurs qui interviennent dans ces modifications de distribution (INRA 2007) :

- la capacité des espèces à s'adapter aux nouvelles conditions
- la capacité des espèces à migrer,
- les interactions avec les nouveaux cortèges de symbiotes, pathogènes et parasites,
- le rôle de la variabilité génétique,
- la capacité des espèces à coloniser de nouvelles niches climatiques.

Figure 11. Aire de distribution actuelle du hêtre (à gauche) et aire de distribution future modélisée selon un scénario de doublement de la concentration en CO₂ (Source : Sykes & Prentice 1995)



Le changement climatique étant très rapide, beaucoup d'organismes ne seront pas capables de modifier leur aire de distribution assez rapidement, à cause de capacité de dispersion plus faibles, de la fragmentation et du manque d'habitats-relais adaptés permettant une migration vers le nord aisée (Franklin *et al.* 2003, Morin *et al.* 2007) ou d'obstacles naturels tels que mers et montagnes. **La rapidité du changement est également à mettre en lien avec l'adaptation. Celle-ci ne sera possible que si la vitesse d'adaptation est au moins égale à celle du changement.** La rapidité du changement sera particulièrement marquée dans le cas de la projection « sèche », qui affiche déjà une augmentation de 2°C en 2030.

Le changement climatique étant très rapide, beaucoup d'organismes ne seront pas capables de modifier leur aire de distribution assez rapidement, à cause de capacité de dispersion plus faibles, de la fragmentation et du manque d'habitats-relais adaptés permettant une migration vers le nord aisée (Franklin *et al.* 2003, Morin *et al.* 2007) ou d'obstacles naturels tels que mers et montagnes. La rapidité du changement sera particulièrement marquée dans le cas de la projection « sèche », qui affiche déjà une augmentation de 2°C en 2030.

Les archives paléoécologiques ont montré que les arbres avaient des taux de migration de 200 à 300 mètres par an lors des cycles de glaciation-réchauffement antérieurs. Ces taux seraient largement en-dessous de ce qui est requis en réponse au changement climatique actuel (vitesse supérieure à 1km/an d'après Gitay *et al.* 2001), défini comme beaucoup plus rapide que les précédents (Fischlin & Migdley 2007).

Chaque espèce, chaque communauté peut réagir de manière distincte (Usher 2005). De nombreux types de nouvelles communautés pourraient apparaître, en fonction des caractéristiques de réaction au changement propres à chaque espèce. Ainsi, les conséquences sont difficiles à prévoir et peuvent être de divers types : la disparition et l'arrivée d'espèces peut conduire à une modification des relations interspécifiques (rupture de certaines chaînes alimentaire, nouvelles relations de compétition, etc.), ce qui peut amener à des modifications du fonctionnement des écosystèmes forestiers (Guns & Perrin 2007, Commission Nationale Climat 2008).

Les espèces peuvent également répondre au changement climatique par des modifications morphologiques, physiologiques, génétiques et au niveau reproductif. On considère toutefois que les arbres, espèces à temps de génération long, présentent une réponse aux nouvelles pressions sélectives plus lente que les espèces à temps de génération court (Rosenheim & Tabashnik 1991). La plasticité phénotypique peut également permettre à certaines espèces de se développer sous une large gamme de conditions climatiques. On considère toutefois

que pour les arbres, elle ne suffit pas à faire face aux nouvelles conditions climatiques (Thuiller *et al.* 2008).

Une progression vers le nord a déjà été observée pour certaines espèces, comme le houx dans les Ardennes françaises. Cependant, d'autres facteurs peuvent y avoir joué un rôle plus important que le changement climatique (dépôts azotés, pluies acides, gestion forestière, etc.). Par exemple, le houx était autrefois considéré comme gênant et souvent éliminé par la gestion sylvicole, tandis qu'il est maintenant favorisé afin d'introduire de la diversité dans les peuplements (Dupouey & Bodin 2007).

5.2 Modification de la phénologie

Globalement, au niveau de la phénologie, on devrait assister à **une plus grande précocité des événements printaniers et à une plus grande tardivité des événements automnaux** (Root *et al.* 2003).

En Belgique, nous ne disposons pas de longues séries d'observations phénologiques. Au niveau de l'Europe par contre, des observations réalisées sur une période de 30 ans ont montré que les événements printaniers, comme l'éclosion des bourgeons, se produisent 6 jours plus tôt et que les événements automnaux, comme le jaunissement des feuilles, se produisent 4,8 jours plus tard (Menzel *et al.* 2006).

Des décalages entre certains processus biologiques pourraient apparaître (Marbaix & van Ypersele 2004, Nationale Climate Commission 2010, Usher 2005). Par exemple certaines populations de chenilles pourraient éclore plus tôt, ne pas trouver assez à manger car les feuilles des arbres ne sont pas encore sorties, être décimées suite au manque de nourriture, ce qui pourrait ensuite nuire aux mésanges qui se nourrissent de ces chenilles, etc. La période de floraison d'une plante et l'émergence de son pollinisateur spécifique pourraient également être décalés dans le temps, ce qui mettrait en danger à la fois la plante et l'insecte (Marbaix & van Ypersele 2004, Nationale Climate Commission 2010, Usher 2005).

Des opportunités positives peuvent également ressortir de ces modifications de la phénologie, comme par exemple au niveau de la fructification des essences forestières. Actuellement, on semble déjà assister à des fructifications plus fréquentes.

5.3 Impacts sur la croissance forestière

Le projet CARBOFOR (INRA 2007) a étudié, en France, les effets de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur la croissance des arbres. **Un accroissement de la concentration en CO₂ du simple au double peut augmenter de 20 à 30% la production photosynthétique des forêts** (INRA 2007). Dans un premier temps au moins, l'enrichissement en CO₂ et l'allongement de la période de croissance végétative devraient stimuler la croissance forestière, et donc la production de bois (Guns & Perrin 2007, Commission Nationale Climat 2008), jusque dans les années 2030-2050 selon l'INRA (2007). **Cette tendance peut toutefois être limitée par des températures excessives, des épisodes de sécheresse, des dépôts d'ozone et la fertilité du sol** (INRA 2007) et sera fort dépendante des conditions locales. Actuellement en Wallonie, dans certaines zones, la productivité est déjà limitée par la richesse minérale des sols ou par des problèmes d'alimentation en eau.

A terme, la tendance à l'augmentation de la croissance devrait être suivie par un plateau voire un déclin, d'ici les années 2070-2100 selon les résultats du projet CARBOFOR (INRA 2007). Ce déclin sera causé par des limites dans la fertilité du sol ainsi que par la sécheresse relative induite par l'augmentation de température et la modification du régime des précipitations (Bréda *et al.* 2000).

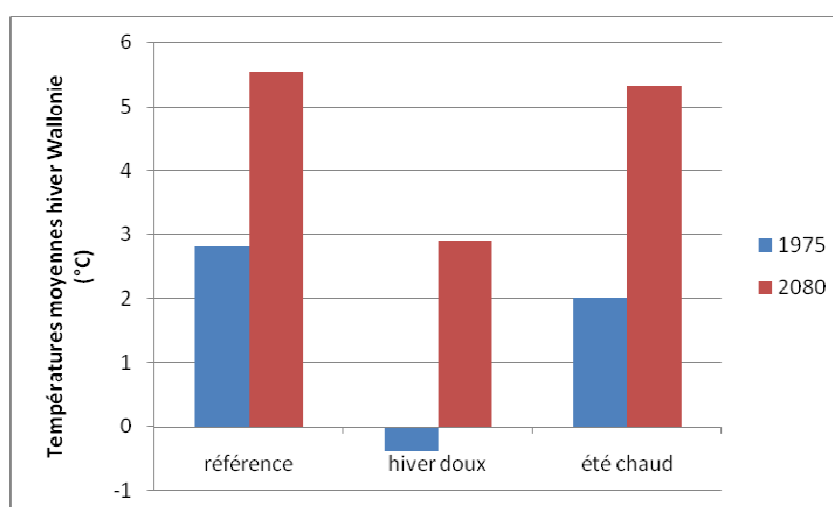
Précisons que **les interactions entre les températures, les précipitations, les dépôts azotés et la concentration en CO₂ rendent difficiles et incertaines les extrapolations**. De plus, les arbres adultes peuvent tempérer les modifications physiologiques induites par l'augmentation de CO₂. La stimulation de la photosynthèse pourrait dans ce cas n'être que provisoire (Bréda *et al.* 2000).

5.4 Augmentation de la fréquence des pullulations

Le changement climatique devrait conduire à une ampleur accrue des dégâts causés par les organismes pathogènes et parasites.

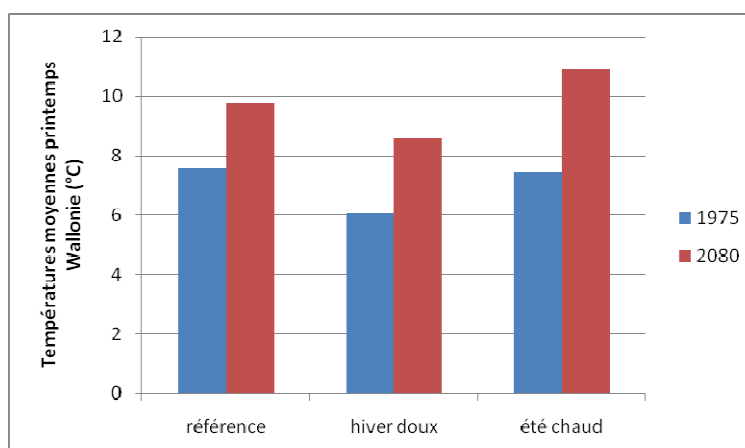
Les conditions climatiques en général, et la température en particulier, influent de manière directe le développement des insectes : survie hivernale, vitesse de développement des différents stades larvaires, etc. (Roques & Nageleisen 2007). **Actuellement, la distribution de la majorité des insectes forestiers est limitée par les températures hivernales.** Une augmentation minime de ces températures pourrait favoriser la survie de ces insectes dans des zones qui leur étaient auparavant défavorables (Roques & Nageleisen 2007). Or, cette augmentation des températures hivernales est prévue par les 3 projections (Figure 12). Cela se traduirait globalement par une extension de l'aire de répartition des insectes vers le nord (Guns & Perrin 2007, Commission Nationale Climat 2008). Les pathogènes dont la survie hivernale est également limitée par les températures basses verraient aussi leur aire potentielle en forte extension : oïdium, *Phytophthora*, rouilles, etc. (INRA 2007, Marçais & Desprez-Loustau 2007).

Figure 12. Evolution des températures moyennes hivernales en Wallonie selon les 3 projections



Le printemps est un moment essentiel du développement larvaire des insectes forestiers. Des températures printanières plus élevées, prévues selon les 3 projections (Figure 13) peuvent donc tendre à accélérer le développement des stades larvaires, ce qui peut se solder par une augmentation du nombre de générations par an. L'essaimage nécessite également une température minimale, qui pourrait être plus facilement atteinte, ce qui faciliterait le déplacement des adultes. Enfin, les performances reproductrices sembleraient aussi favorisées par des températures plus hautes dans la plupart des cas. Toutefois, il existe également des seuils létaux maximum de température (Roques & Nageleisen 2007).

Figure 13. Evolution des températures moyennes au printemps en Wallonie selon les 3 projections.



La répartition des insectes qui se nourrissent exclusivement d'un seul hôte sera liée à la nouvelle répartition de leur hôte. Le changement climatique peut entraîner une

désynchronisation entre l'insecte et son hôte. Cependant, certains auteurs pensent que le pouvoir d'adaptation des insectes compensera rapidement les changements. En effet, les insectes sont des organismes à cycle court, avec des possibilités d'adaptation, d'évolution et de déplacement très importantes. Ainsi, le changement climatique serait globalement plutôt favorable aux parasites, grâce à leurs grandes capacités d'adaptation (INRA 2007).

Les interactions entre les insectes et leurs ennemis naturels¹⁰ pourraient également être affectées. A nouveau, **la diversité des interactions entre espèces d'insectes et espèces de végétaux rend difficile les prévisions de toutes les conséquences du changement climatique.** (Roques & Nageleisen 2007).

Des observations actuelles laissent présager des conséquences futures. La processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) a été redécouverte en Belgique en 1971 après de nombreuses années d'absence. Elle a rapidement progressé vers le nord et est devenue une vraie nuisance dans certains cas (Stigter & Das 1996, Stigter *et al.* 1997, Marçais *et al.* 2000). Toutes les causes de cette expansion ne sont pas connues mais les conditions climatiques ont sans doute joué un rôle favorable (Marçais *et al.* 2000).

Quant aux scolytes, des études récentes ont montré qu'un stress hydrique modéré augmente la résistance des arbres aux champignons qui leur sont associés tandis qu'un stress long et sévère la diminue (Croisé & Lieutier 1993, Lieutier 2004, Wermelinger 2004). Les populations de ces insectes et les dommages aux épicéas ont augmenté après la sécheresse de 2003 (Nageleisen 2004). *Ips typographus* fait en général deux générations par an en Belgique, voire trois les années exceptionnelles. On peut s'attendre à voir ce dernier cas se généraliser (Laurent & Perrin 2008).

5.5 Augmentation de la fréquence des aléas climatiques

Les événements climatiques extrêmes en général induisent un stress sur les arbres et les rendent plus sensibles aux attaques des ravageurs et des parasites (INRA 2007, Marçais & Desprez-Loustau 2007).

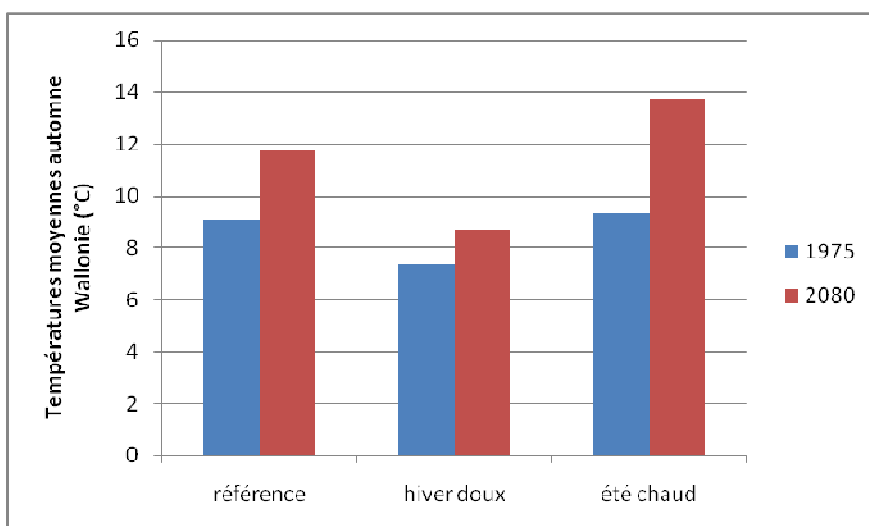
Les impacts potentiels cités ci-dessous sont à modérer en fonction des fortes variations interannuelles du climat et des conditions locales de sol et de peuplement (Granier *et al.* 1995).

5.5.1 Dégâts de gel

La baisse progressive des températures en automne conditionne la tolérance des tissus végétaux au froid (Bréda *et al.* 2000). **L'augmentation des températures automnales pourrait donc rendre certaines essences plus sensibles au froid hivernal et au gel** (Bréda *et al.* 2000, Hänninen *et al.* 2001, Hänninen 2006). Les 3 projections climatiques prévoient une augmentation des températures automnales (Figure 14). Le nombre de jours de gel en hiver devrait également diminuer mais ne sera pas réduit à néant : il sera encore de 14,3 à 31,66 jours en 2080 selon la projection prise en compte. La projection « sèche » devrait voir l'augmentation la plus significative de dégâts de gel liés à l'augmentation des températures automnales puisqu'il prévoit la plus grande augmentation de ces températures (+4,43°C) pour un nombre de jours de gel hivernal encore conséquent (26,82 jours).

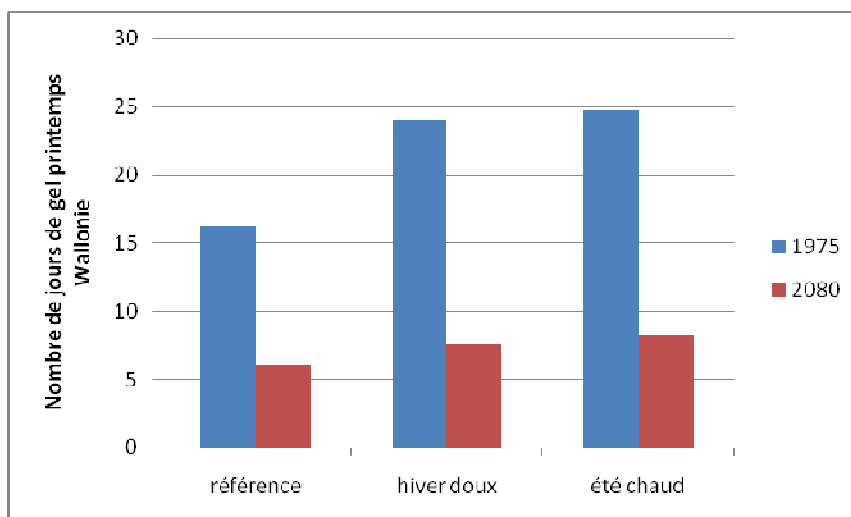
¹⁰ Prédateurs et parasitoïdes des insectes

Figure 14. Evolution des températures moyennes en automne en Wallonie selon les 3 projections.



L'augmentation des températures printanières, prévue par les 3 projections (Figure 13), devrait mener à **un débourrement plus précoce** (voir paragraphe 3.2), ce qui **pourrait accroître les risques de dégâts de gelées tardives**, qui ont des effets sur la croissance et sur la régénération (Bréda *et al.* 2000). Le nombre de jours de gel au printemps devrait toutefois fortement diminuer selon les 3 projections climatiques (Figure 15), mais resterait au-delà de 5 jours en 2080.

Figure 15. Evolution du nombre de jours de gel au printemps en Wallonie selon les 3 projections.

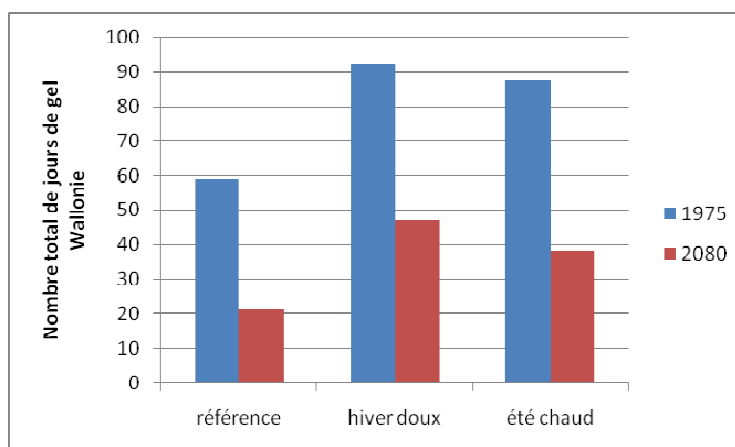


5.5.2 Sensibilité aux tempêtes

Pour ce qui est des tempêtes, les prévisions climatiques sont à ce jour incertaines et ne penchent pas vraiment vers une augmentation ou une diminution de leur fréquence. Par contre, des modifications de la sensibilité des arbres à ce facteur sont à prévoir.

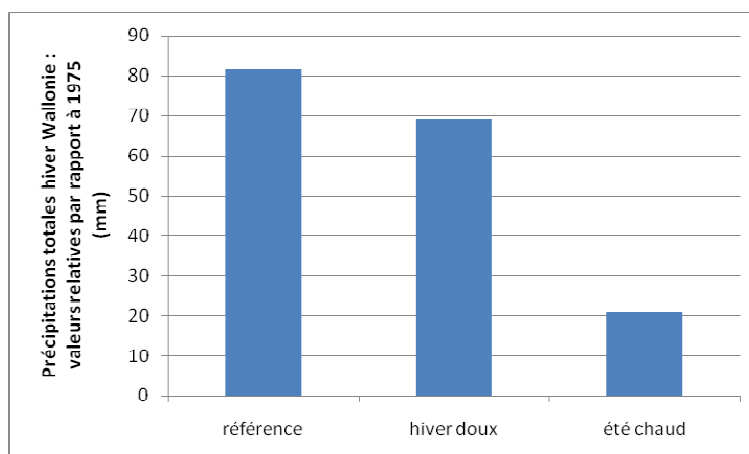
La diminution du nombre de jours de gel (et donc de la période de gel du sol) peut avoir des effets positifs (moins de dégâts de gel) et négatifs. Elle peut entraîner une augmentation des dégâts de tempête car un sol gelé a un effet bénéfique sur l'ancrage racinaire (Gip-Ecofor 2010). Les 3 projections prévoient une diminution conséquente du nombre de jours de gel (Figure 16).

Figure 16. Evolution du nombre de jours de gel annuel en Wallonie selon les 3 projections.



L'augmentation des précipitations hivernales, conséquente surtout dans la projection moyenne et la projection « humide » (Figure 17) peut également diminuer l'ancrage racinaire, qui est réduit dans un sol saturé en eaux (fortes pluies et drainage déficient) (Gip-Ecofor 2010).

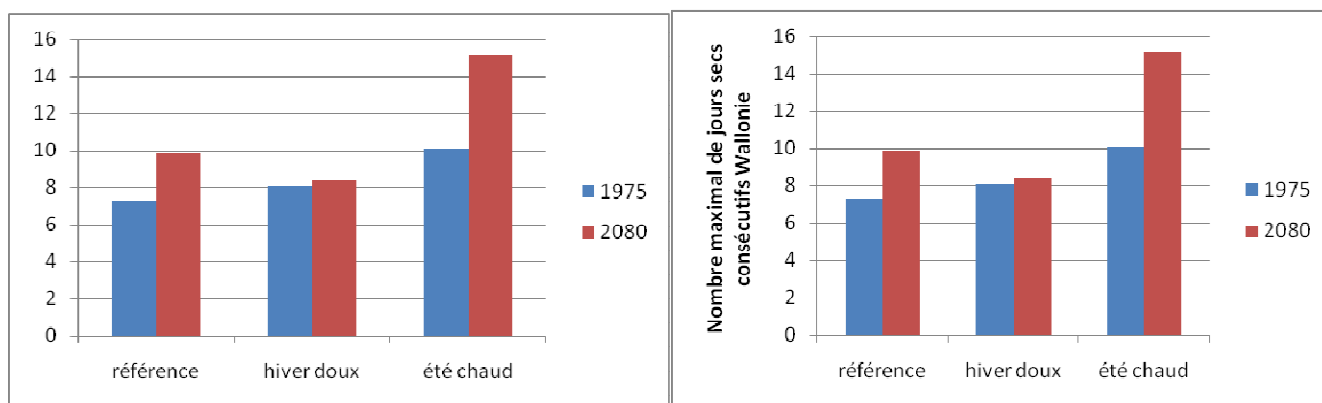
Figure 17. Evolution des précipitations hivernales en Wallonie selon les 3 projections.



5.5.3 Stress hydriques

Les arbres des régions tempérées sont capables de supporter sans dommage majeur des températures de l'ordre de 40°C. **Ces températures ne deviennent véritablement dommageables que lorsque s'y ajoute l'influence d'une forte sécheresse. Dans de telles conditions, la transpiration foliaire, qui contribue à refroidir en évaporant de l'eau, se réduit, voire s'arrête.** La température des feuilles peut alors devenir supérieure à celle de l'air, de 5 à 7°C (Bréda *et al.* 2000, Granier & Bréda 2007). Le nombre de jours secs et le nombre maximal de jours secs consécutifs devraient augmenter selon la projection moyenne et la projection « sèche ». Par contre, il ne devrait quasiment pas y avoir de changement dans ces paramètres selon la projection « humide » (Figure 18).

Figure 18. Evolution du nombre de jours secs (à gauche) et du nombre maximal de jours secs consécutifs (à droite) en été en Wallonie selon les 3 projections.



Les semis et les jeunes plants forestiers, à enracinement plus superficiel et dont la partie aérienne se trouve à proximité du sol, où la température peut être plus élevée, sont plus sensibles à une augmentation de la température estivale. Cette dernière peut entraîner une mortalité importante et des effets limitant sur la régénération des peuplements (Bréda *et al.* 2000).

L'été 2003, entre juin et août, a été marqué par des conditions très sèches et chaudes, inhabituelles en Europe (Fink *et al.* 2004, Luterbacher *et al.* 2004, Schär *et al.* 2004). Des étés chauds similaires arriveront sans doute au moins tous les deux étés d'ici 2080 (Nakicenovic *et al.* 2000). Ainsi, les effets observés de l'été 2003 sur les écosystèmes fournissent une indication sur les impacts futurs. Les stress hydriques causés par la sécheresse à la végétation ont réduit la production brute primaire de 30% en Europe ainsi que la respiration à un moindre degré, résultant en une source de carbone nette (Gobron *et al.* 2005, Lobo & Maisongrande 2006, Ciais *et al.* 2005). Des dégâts à la couronne des arbres dominants en 2004 ont illustré des impacts différés complexes (Fischer 2005).

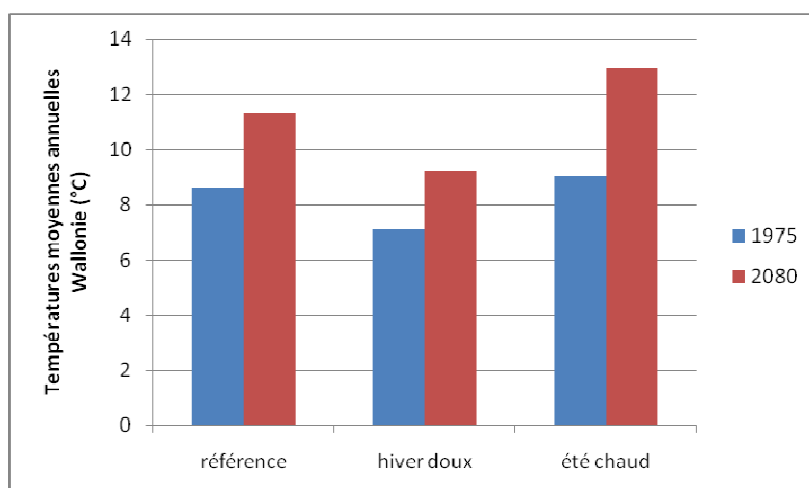
5.5.4 Risque d'incendie

Enfin, **une apparition du risque d'incendie en été, actuellement peu présent voire absent en Wallonie, n'est pas à exclure.** Certains peuplements (principalement les résineux) et certaines régions (dont les Hautes Fagnes) pourraient y être particulièrement sensibles.

5.6 Amplification des invasions

Des températures plus élevées, prévues par les 3 projections (Figure 19), et donc plus clémentes pour certaines espèces exotiques, **peuvent mener à une aggravation du problème des invasions biologiques.**

Figure 19. Evolution des températures moyennes annuelles en Wallonie selon les 3 projections



Différents processus peuvent mener à une amplification de ce problème. Premièrement, le seuil thermique qui bloque pour le moment l'installation et l'expansion de certaines espèces exotiques présentes en Wallonie (mais non invasives actuellement) pourrait être levé (Roques & Nageleisen 2007), conduisant ces espèces à devenir invasives. Ensuite, l'abondance d'espèces déjà déclarées comme invasives dans notre région pourrait augmenter. Enfin, des espèces invasives pourraient voir leur aire de distribution s'étendre et s'installer chez nous, depuis la France par exemple.

Xylosandrus germanus ne se trouve actuellement pas à plus de 350 m d'altitude en Belgique, et est donc quasiment absent de la région ardennaise. Il est fort probable que les températures hivernales minimales sont le principal paramètre qui détermine la distribution de cette espèce en Belgique (Henin & Versteirt 2004). La température explique également pourquoi l'espèce est univoltine en Europe (Bruge 1995). Le réchauffement climatique et l'augmentation des températures hivernales (Figure 2) pourraient permettre à cette espèce de s'installer de manière permanente dans l'entièreté de l'Ardenne tandis que son abondance et son impact économique pourraient augmenter dans toute la Wallonie (Henin & Versteirt 2004).

Phytophthora cinnamomi est un champignon pathogène originaire de Papouasie-Nouvelle-Guinée, qui a été introduit en France il y a une centaine d'années. Ce champignon, qui s'attaque notamment aux chênes, est très sensible au gel et n'est actuellement présent qu'au Sud de l'Europe (INRA 2007). Ce champignon pourrait s'installer en Wallonie (figure ci-dessous) sous l'effet du changement climatique, notamment grâce à la diminution du nombre de jours de gel prévue par les 3 projections climatiques (Figure 5).

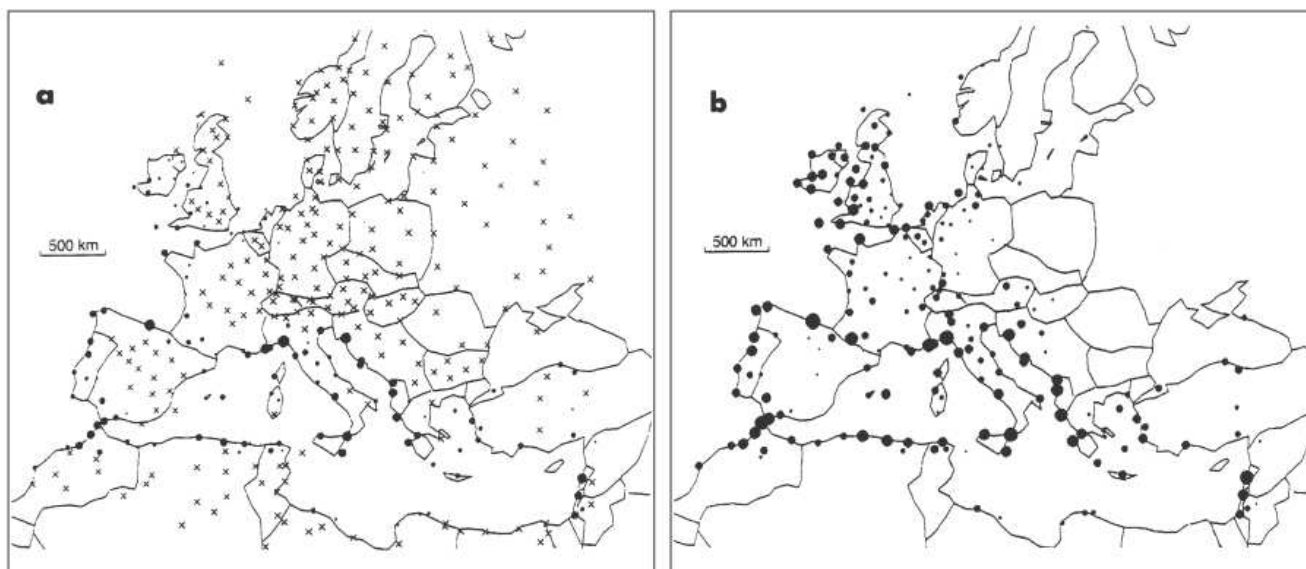
Figure 1a **RÉGIONS D'EUROPE FAVORABLES À *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI* SOUS LE CLIMAT ACTUEL**

Les croix indiquent des régions au climat défavorable à la survie et au développement du champignon

Figure 1b

RÉGIONS D'EUROPE POTENTIELLEMENT FAVORABLES SOUS L'HYPOTHÈSE D'UN RÉCHAUFFEMENT DE 3 °C

La taille des points est d'autant plus grande que le climat est favorable à la survie et au développement du champignon



Source : Brasier (1996), Marçais et al. (2000)

5.7 Par rapport aux menaces actuelles

Le changement climatique aura également un effet sur les menaces actuelles. Ces effets sont discutés ci-dessous et récapitulés dans le tableau page 27.

Le changement climatique mènera probablement à la mise en place de **nouveaux équilibres physico-chimiques**, difficiles à prédire. Par exemple, la température influence la décomposition de la matière organique. Une accélération de ce processus peut mener à une augmentation des émissions de CO₂ à partir des sols et à une augmentation en carbone organique dissous dans les eaux de percolation (Evans et al. 2005).

Le changement climatique mènera probablement à une amplification des pullulations, des invasions et des aléas climatiques (voir paragraphes 3.4, 3.5 et 3.6).

Les populations de gibier pourraient voir leur mortalité hivernale diminuer. Toutefois, rappelons que le facteur principal dans le problème des surdensités de grand gibier est la gestion cynégétique et non les conditions climatiques. Ce problème de surdensité tend à homogénéiser les écosystèmes forestiers (espèces appréciées préférentiellement, etc.), ce qui est une cause de vulnérabilité supplémentaire par rapport au changement climatique. Une forêt diversifiée, tant dans les types d'habitats que dans les essences principales ou dans la structure, est bien plus résistante au changement, quel qu'il soit.

Pour ce qui est du problème de la surexploitation, il n'y a pas d'effet attendu du changement climatique.

Enfin, **des modifications de la fréquentation des forêts pourraient se produire.** Par exemple, une augmentation de la température estivale pourrait amener plus de citoyens à se rendre dans les forêts périurbaines en été afin d'échapper à la chaleur étouffante de la ville. Ou a contrario, certains massifs forestiers pourraient être plus souvent fermés au public à cause de risques d'incendie ou de tempêtes.

Insistons encore une fois sur le fait que **le changement climatique vient exercer une pression supplémentaire sur une forêt déjà menacée par plusieurs facteurs.** Les capacités d'adaptation, de résistance et de résilience d'écosystèmes forestiers affaiblis sont dès lors déjà diminuées.

	Menaces sur la forêt						
	modifications des conditions physico-chimiques de l'environnement	invasions	pullulation (maladies et parasites)	surdensités de grand gibier	surexploitation	surfréquentation	aléas climatiques
modifications suite aux changements climatiques	déplacement vers de nouveaux équilibres?	nouvelles espèces et ↗ de l'abondance des espèces présentes	↗ des pullulations	↘ de la mortalité hivernale	/	peut modifier fréquentation?	renforcement; ↗ du risque d'incendie (épicéa et douglas)
cause de vulnérabilité aux changements climatiques	/	affaiblissement des populations (↘ des capacités d'adaptation, de résistance et résilience des populations)					/
	/	/	/	homogénéisation de la forêt	/	/	/

6 Pistes pour l'adaptation

L'application de stratégies d'adaptation précises est rendue difficile par les incertitudes qui pèsent sur l'ampleur du changement et son horizon temporel ainsi que par les réponses décalées des écosystèmes (Fischlin & Midgley 2007). Des approches qui soient pertinentes à la fois à l'heure actuelle et dans le futur sont à favoriser (stratégies « sans regret »), ainsi que des stratégies flexibles et robustes vis-à-vis de ces incertitudes (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009).

L'adaptation naturelle des espèces et des écosystèmes est à privilégier (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009). La résilience et les capacités d'adaptation de la forêt au changement peuvent être améliorées en **réduisant les menaces des facteurs non climatiques**, et en favorisant une sylviculture plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème.

Les stratégies d'adaptation ne doivent pas être pensées uniquement dans une optique de conservation de la forêt, mais également dans **une optique de maintien des fonctions écosystémiques**. Les processus de prise de décision devraient toujours considérer la valeur des fonctions remplies par les forêts (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009). Il pourrait être nécessaire dans le futur d'améliorer ou de remplacer les fonctions qui auraient diminué ou disparu mais remplacer des services comme la contribution aux cycles biogéochimiques et au régime des eaux peut se révéler bien difficile. La perte ou la capacité réduite des écosystèmes à rendre des services pourrait être un des impacts majeurs du changement climatique (Fischlin & Midgley 2007).

Les changements dans la composition en espèces sont inéluctables. Ils font partie du processus naturel des successions forestières et seront probablement amplifiés par le changement climatique (Van Ierland *et al.* 2001). **Une vision dynamique de l'écosystème forestier doit être envisagée.**

Certaines mesures encouragées dans le cadre de la mitigation concernant la forêt et devront être prises en compte dans la gestion et l'adaptation. Afin de maintenir **le stock de carbone et son potentiel de piégeage, les surfaces forestières devraient être stabilisées** (Commission Nationale Climat 2008). Toujours dans cette même optique, la production de biomasse et de produits à longévité importante devrait être de plus en plus développée (Laurent & Perrin 2008).

6.1 Mettre en place une sylviculture durable et plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème

Une sylviculture plus durable et plus proche du fonctionnement naturel de l'écosystème forestier permet de favoriser l'adaptation naturelle et d'augmenter la résilience au changement.

Pour les propriétaires privés, la révision du code forestier, qui inclut la modification des droits de succession, devrait en principe leur permettre de développer une gestion plus écologique de leurs forêts, en leur permettant de maintenir le matériel sur pied à plus long terme et ainsi de choisir des essences feuillues à longue révolution (Laurent & Lecomte 2007a). Pour ce qui est des forêts publiques, le nouveau code forestier fixe déjà certains objectifs qui contribuent à une gestion plus durable, comme le choix d'essences adaptées aux conditions locales, la diversification, la limitation des coupes à blanc, du drainage et des intrants, les mesures favorisant la biodiversité, etc. (Commission Nationale Climat 2008, TBE 2010).

Une circulaire bois durable a été mise en place par le gouvernement fédéral. Elle impose aux autorités fédérales de ne plus choisir dans le cadre de leur politique d'achat que des bois certifiés. Le Service Public de Wallonie, quant à lui, s'est engagé dans la certification PEFC :

plus de 80% des forêts gérées par le DNF sont certifiées PEFC (Commission Nationale Climat 2008).

6.1.1 Favoriser la diversité

Une diversité spécifique, génétique et structurelle augmente les capacités d'adaptation ainsi que la résistance et la résilience par rapport aux événements extrêmes. Le mélange des essences offre une résistance plus importante aux diverses atteintes, aux insectes phytophages (Jactel & Brockerhoff 2007) et aux attaques biotiques en général (Barthod 1994). Les espèces ont chacune un tempérament différent et ne sont pas toutes sensibles aux mêmes atteintes ni réactives aux mêmes seuils de stress. Une meilleure gestion des essences secondaires naturellement présentes contribue à maintenir des peuplements mélangés : préserver les semenciers, porter de l'attention aux semis lors des dégagements, etc. (Legay et al. 2007). Certaines espèces comme les tilleuls, les bouleaux et les fruitiers devraient être réhabilités. La réhabilitation ne doit pas concerner uniquement la sylviculture, mais également la filière de transformation (Laurent & Perrin 2008). Un peuplement mélangé contribue également à maintenir une bonne structure du sol (enracinements variés).

Pour ce qui est des peuplements purs équiennes en place d'essences acclimatées, il est important de limiter l'exposition au risque et de favoriser la bonne vitalité des individus. Dans ce cas, une sylviculture dynamique contribue à ce que chaque individu ait un maximum de ressources pour maintenir sa vitalité. Les actions suivantes sont à préconiser : réduire la révolution, maintenir un bilan hydrique favorable, favoriser le recyclage des minéraux, privilégier les éclaircies soutenues à courte rotation pour limiter les trop forts prélèvements déstabilisateurs, etc. Des essences compagnes ou de sous-bois peuvent être intégrées. En fin de révolution, on pourra modifier le choix de l'essence et favoriser les mélanges (Laurent & Perrin 2008, Bastien et al. 2000).

6.1.2 Respecter l'adéquation essence X station

Une essence est d'autant plus sensible aux accidents climatiques qu'elle est éloignée de ses conditions optimales de station (Bastien et al. 2000). Globalement, on peut s'attendre à ce que les essences qui sont actuellement mal adaptées à leur station le soient de plus en plus. Par exemple, le chêne pédonculé souffre sur des stations à hydromorphie temporaire, ce qui risque de s'empirer avec le changement climatique et les sécheresses plus fréquentes. Sur ces stations, il pourrait être remplacé par le chêne sessile. Entreprendre une transformation systématique des peuplements en prévision du changement climatique n'est certainement pas une bonne solution tant que ces peuplements ne montrent pas des signes d'inadaptation. A contrario, dans le cas d'une inadaptation actuelle ou dans le cas d'espèces en marge de leur station ou de leur aire de distribution, il est important d'agir, non seulement en termes d'adéquation actuelle, mais également en termes d'adéquation future (Legay et al. 2007). Une révision du fichier écologique et du guide du boisement qui va dans ce sens est actuellement en cours. L'incertitude qui règne sur les conditions futures rend toutefois le choix difficile et présente un risque.

Au cours des 15 dernières années, les administrations régionales ont déjà encouragé le remplacement des conifères comme l'épicéa par des essences mieux adaptées à des hivers doux et pluvieux (par exemple douglas et feuillus). L'encouragement se fait au travers de la législation et d'incitants financiers, en particulier sous la forme de subsides accordés à la plantation en accord avec le guide des essences.

Mettre à profit la variabilité des espèces au sein de leur aire peut également constituer une solution, par exemple en allant chercher des provenances du sud des aires de nos grandes essences. Toutefois, les modélisations de l'enveloppe climatique des espèces prennent déjà en compte cette variabilité. L'utilisation d'autres provenances ne semble donc pas suffire à maintenir l'espèce là où il est prévu qu'elle disparaisse (Legay et al. 2007).

6.1.3 Encourager des méthodes d'exploitation respectueuses

Au niveau de l'exploitation, plusieurs mesures peuvent être prises pour favoriser une gestion durable du sol : mise en place d'un réseau de cloisonnement pour l'exploitation, qui permet de réduire les dégâts directs aux arbres et les tassements de sol, dépôt des rémanents sur le cloisonnement d'exploitation ou sur le sol pour restituer les éléments minéraux (Bastien *et al.* 2000), etc. Dans le cas où un enlèvement complet de la totalité des produits d'éclaircie est nécessaire, une compensation des déséquilibres par des amendements de restauration peut s'envisager (Bonneau *et al.* 1994, Laurent & Perrin 2008).

6.1.4 Maintenir la biodiversité

Le maintien de la biodiversité en forêt est également une garantie d'une meilleure adaptabilité des écosystèmes. Il implique le maintien de la diversité des situations locales (microhabitats et lisières) et d'une dynamique forestière comprenant les différents stades d'âge, y compris âgés et sénescents (Laurent & Perrin 2008). En cela, une diminution de la révolution pourrait avoir des effets négatifs sur la biodiversité.

Des mesures en faveur de la biodiversité en forêt sont imposées par le nouveau code forestier : le maintien d'arbres morts ou tombés, le maintien d'au moins un arbre d'intérêt biologique par surface de 2 ha, la mise en place de réserves forestières intégrales en feuillus, etc.

6.1.5 Favoriser la régénération naturelle

La régénération naturelle est à favoriser car elle permet à la sélection naturelle de s'exprimer. De plus, les semis naturels sont également plus résistants à la sécheresse (Legay *et al.* 2007, Laurent & Perrin 2008).

6.1.6 Prélever les ressources de manière durable

Au niveau du prélèvement des ressources, il est nécessaire de s'assurer que leur utilisation est durable sous les impacts du changement climatique (modification des plans de gestion, des taux de prélèvement, etc.) (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009).

6.2 Mettre en place un système de surveillance, d'alerte précoce et de gestion de crise

Les dégâts causés par les maladies, parasites et aléas climatiques pourraient être largement réduits par la mise en place d'un système de surveillance et d'alerte précoce, relié à un dispositif de gestion de crise qui permettrait d'agir dès la détection du problème (Legay *et al.* 2007). Un tel système de gestion de crise devrait intégrer tout le cheminement depuis le dispositif d'alerte jusqu'à l'exploitation et la valorisation des produits forestiers récoltés suite à l'événement (Legay *et al.* 2007, Laurent & Perrin 2008). Une bonne capacité de réaction en temps de crise implique de disposer d'un nombre suffisant de personnes qualifiées qui peuvent être mobilisées au moment adéquat.

La prévention contre le dépérissement dû aux tempêtes, champignons, insectes, coups de froid, etc. passe aussi par l'application des mesures relatives à une sylviculture durable telles que le choix d'essences adaptées à la station, les peuplements en mélange, etc. (voir paragraphe 4.1). Par rapport aux tempêtes, le développement de lisières structurées (Laurent & Perrin 2008, Bastien *et al.* 2000) et les peuplements à structure diversifiée permettent d'en diminuer l'impact.

Pour les incendies, des mesures plus spécifiques devraient être prises, telles que la gestion adéquate des coupe-feux, des interdictions d'accès aux périodes sensibles, etc.

Un observatoire wallon de la santé des forêts est mis en place cette année. Il devrait initier un système de surveillance de nos forêts, dans la perspective d'une lutte coordonnée en situation de crise sanitaire (Delahaye & Herman 2011).

6.3 Réguler les populations de grand gibier

La régulation des populations de grand gibier doit se faire de manière à diminuer les stress additionnels sur la forêt. Cela implique une limitation du nourrissage et un contrôle plus sévère des populations, passant par un respect des plans de tir, voire une revue à la hausse de ceux-ci, accompagnés de sanctions en cas de non respect.

6.4 Suivre la forêt et faire le lien avec le changement climatique

L'Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie réalise un état des lieux permanent de la forêt. Ce dernier devrait bientôt être complété par l'observatoire wallon de la santé des forêts. Il est nécessaire de poursuivre les suivis existants, en parallèle à un suivi du changement environnemental, ce qui permettrait d'ajuster les stratégies de gestion au fur et à mesure (Fischlin & Midgley 2007).

6.5 Combler les lacunes de connaissance

La mise en place de programmes de recherche pour combler les lacunes de connaissance semble indispensable. La capacité de migration des espèces, leur capacité d'adaptation et les nombreuses interactions entre espèces, entre facteurs environnementaux, etc. sont relativement mal connues.

Il est important, dans un souci d'efficacité et d'optimisation des moyens, d'intégrer au maximum ces programmes de recherche au niveau européen.

6.6 Suivre et gérer les espèces exotiques invasives

Maintes actions de suivi, de gestion et de sensibilisation concernant les espèces exotiques invasives sont déjà mises en place en Wallonie. Il est important de poursuivre ces actions et de les améliorer en vue de limiter l'arrivée de nouvelles espèces invasives.

Il est bien plus facile de contrôler, voire d'éradiquer, les espèces allogènes quand elles sont peu nombreuses, qu'elles occupent une aire limitée et/ou qu'elles sont encore à un stade précoce de l'invasion (Usher 2005). Un système de suivi des espèces exotiques, relié à un système de gestion précoce, pourrait dès lors se révéler très efficace.

Enfin, la meilleure stratégie est bien évidemment de limiter fortement, voire interdire, l'importation d'espèces à risque.

Pour la forêt en particulier, la dispersion de maladies et de pestes venues de régions du Sud peut-être ralentie en limitant l'importation de bois frais venant de zones où ces pestes et maladies sont présentes (Parry 2000, Kramer 2001).

6.7 Conserver les espèces en danger

Des mesures de conservation ex-situ (graines, jardins botaniques, etc.) des espèces qui ne seront pas capables de survivre sous les nouvelles conditions seront probablement nécessaires (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009). Un programme de surveillance des espèces menacées est un pré requis à cette mesure.

6.8 Relocaliser les espèces en danger

La migration des espèces pourrait ne pas être assez rapide par rapport au changement climatique. Dans ce cas, la translocation artificielle pourrait être un moyen de préserver les espèces. Les coûts de cette mesure seraient très élevés et devraient couvrir de la recherche, de la reproduction en captivité, l'implémentation effective, etc. (Fischlin & Midgley 2007)

En plus des coûts élevés, il y a des limitations, des risques et des incertitudes associés à la relocalisation. Les espèces relocalisées deviennent des espèces introduites dans leur nouvel habitat et peuvent potentiellement causer des impacts négatifs sur les espèces indigènes. Ces impacts doivent être évalués avant toute action de relocalisation. Au vu des expériences de réintroduction, la relocalisation devrait coûter très cher, ne devrait être faisable qu'à relativement petite échelle et aurait souvent peu de chances de succès (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009). Cette mesure n'est recommandable qu'en toute dernière extrémité.

7 Glossaire

Charge critique en acidité : Quantité maximale de dépôts acides que l'environnement naturel peut tolérer sans que l'on puisse y déceler des effets indésirables à long terme, sur base des connaissances actuelles (Blin *et al.* 2007)

Espèce invasive : est définie comme présentant l'ensemble des caractéristiques suivantes (Vanderhoeven & Branquart 2007):

- introduite par l'homme de manière volontaire ou accidentelle en-dehors de son aire de distribution naturelle ;
- introduite après 1500, date marquant le début de l'intensification des échanges intercontinentaux ;
- capable de se naturaliser, c'est-à-dire de se reproduire dans la nature et de former des populations pérennes ;
- qui présente des capacités de dispersion menant à une expansion géographique de ses populations.

Espèces saproxyliques : Espèces tributaires du bois mort ou des vieux arbres durant au moins une phase de leur développement

Eutrophisation : phénomène naturel, relativement lent, qui correspond à l'augmentation progressive de la fertilité des eaux suite à un apport continu d'éléments nutritifs (carbone organique, azote et phosphore). Les eaux de surface passent alors progressivement d'un état oligotrophe (pauvre) à un état eutrophe (riche). L'homme accélère ce processus par les apports d'effluents riches en matière organique, en phosphates et en nitrates, issus des pratiques agricoles et des rejets industriels et domestiques (Brahya 2007).

Phénologie : La phénologie est la répartition dans le temps des phénomènes périodiques saisonniers des êtres vivants. Par exemple, pour les arbres, il s'agit de la succession de leurs différents stades de développement : débourrement, floraison, fructification, chute des feuilles, etc.

Surexploitation d'espèces : se définit quand le taux de prélèvement d'une espèce est supérieur à sa capacité de régénération naturelle.

8 Les sources bibliographiques

ABGRALL J.-F. & SOUTRENON A. (1991). La forêt et ses ennemis, 3^{ème} édition. CEMAGREF, Antony cedex, 399p.

ANONYME (2005). Fiche sanitaire. Les scolytes. *Forêts de France* **481**: 29-30.

BADEAU V., DUPOUEY J.-L., CLUZEAU C. & DRAPIER J. (2007). Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. *Rendez-vous techniques de l'ONF Hors série n°3* : 62-66.

BARTHOD C. (1994). Sylviculture et risques sanitaires dans les forêts tempérées. Première partie. *Revue Forestière Française* **46**(6): 609-608.

BASTIEN Y., AUSSÉNAC G. & FROCHOT H. (2000). Les changements climatiques : conséquences pour la sylviculture. *Revue Forestière Française*: 129-138.

BLIN C. & BRAHY V. (2007). Les polluants acidifiants dans l'air. In: *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 322-331.

BONNEAU M., LANDMANN G., GARBAYE J., RANGER J. & NYS C. (1994). Gestion et restauration de la fertilité minérale des sols. *Revue Forestière Française* **46**(5): 579-585.

BRANQUART E., NOIRET O. & LECOMTE H. (2007). Les milieux forestiers. In: *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 538-545.

BRASIER C. M. (1996). Phytophthora cinnamomi and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales Des Sciences Forestieres* **53**(2-3): 347-358.

BRÉDA N., GRANIER A. & AUSSÉNAC G. (2000). Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue Forestière Française* Numéro spécial 2000. Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture: 73-90.

BRUGE H. (1995). *Xylosandrus germanus* (Blandford, 1894) [Belg. sp. nov.] (Coleoptera Scolytidae). *Bulletin et Annales de la Société Royale Belge d'Entomologie* **131**: 249-264.

CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON. (2010). *Tableau de bord de l'environnement wallon 2010*, SPW-DGARNE-DEMNA-DEE. 230 p.

CAIS P., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGEE J., ALLARD V., AUBINET M., BUCHMANN N., BERNHOFER C., CARRARA A., CHEVALLIER F., DE NOBLET N., FRIEND A. D., FRIEDLINGSTEIN P., GRUNWALD T., HEINESCH B., KERONEN P., KNOHL A., KRINNER G., LOUSTAU D., MANCA G., MATTEUCCI G., MIGLIETTA F., OURCIVAL J. M., PAPALE D., PILEGAARD K., RAMBAL S., SEUFERT G., SOUSSANA J. F., SANZ M. J., SCHULZE E. D., VESALA T. & VALENTINI R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* **437**(7058): 529-533.

COLSON V. (2006). La fréquentation des massifs forestiers à des fins récréatives et de détente par la population wallonne et bruxelloise. *Forêt wallonne* **81**: 26-38.

COMMISSION NATIONALE CLIMAT. (2008). *Plan National Climat de la Belgique 2009-2012. Inventaire des mesures et état des lieux au 31/12/2008*. 143p.

CROISÉ L. & LIEUTIER F. (1993). Effect of drought on the induced defense reaction of Scots pine to bark beetle-associated fungi. *Annals of Forest Science* **50**: 91-97.

DELAHAYE L. & HERMAN M. (2011). L'Observatoire wallon de la santé des forêts. *Forêt Wallonne* **110**: 53-58.

DUPOUEY J.-L. & BODIN J. (2007). Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives. *Rendez-vous techniques de l'ONF Hors série n°3* : 34-39.

- EQUIPE LIFE-TOURBIERES. (2007). *Le suivi scientifique du programme LIFE*. Belgique, 25p.
- EVANS C. D., MONTEITH D. T. & COOPER D. M. (2005). Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. *Environmental Pollution* **137**(1): 55-71.
- FINK A. H., BRÜCHER T., KRÜGER A., LECKEBUSCH G. C., PINTO J. G. & ULBRICH U. (2004). The 2003 European summer heatwaves and drought –synoptic diagnosis and impacts. *Weather* **59**(8): 209-216.
- FISCHER R. E. (2005). *The condition of forests in Europe: 2005 executive report*. United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE). Geneva. 36 p.
- FISCHLIN A., MIGDLEY G. F., PRICE J. T., LEEMANS R., GOPAL B., TURLEY C., ROUNSEVELL M. D. A., DUBE O. P., TARAZONA J. & VELICHKO A. A. (2007). Ecosystems, their properties, goods, and services. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson. Cambridge Cambridge University Press: 211-272.
- FRANKLIN A., PEETERS M. & LEENTJES V. (2003). A country profile. In: *Biodiversity in Belgium*. Peeters Marc, Franklin Anne and V. G. J. L. Brussels, Royal Belgian Institute of Natural Sciences: 21-48.
- GIP-ECOFOR. (2010). Destructive storms : résumé de l'étude. [*Écho d'Ecofor* 15](#) : 4-5.
- GITAY H., BROWN S., EASTERLING W. & JALLOW B. (2001). Ecosystems and their goods and services. In: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White. Cambridge Cambridge University Press: 211-272.
- GODIN M.-C. & LIBOIS R. (2007). Prélèvements, repeuplements et réintroductions. In: *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 602-605.
- GOBRON N., PINTY B., MELIN F., TABERNER M., VERSTRAETE M. M., BELWARD A., LAVERGNE T. & WIDLÓWSKI J. L. (2005). The state of vegetation in Europe following the 2003 drought. *International Journal of Remote Sensing* **26**: 2013-2020.
- GRANIER A., BADEAU V. & BRÉDA N. (1995). Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française XLVII*, n°spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois": 59-68.
- GRANIER A. & BRÉDA N. (2007). Ecophysiologie et fonctionnement des écosystèmes forestiers. *Rendez-vous techniques de l'ONF Hors série n°3* : 81-88.
- GUNS A. & PERRIN D. (2007). Les changements climatiques. In: *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 299-315.
- HÄNNINEN H., BEUKER E., JOHNSEN O. L. I., MURRAY M., SHEPPARD L. & SKROPPA T. (2001). Impacts of climate change on cold hardiness of conifers. In: *Conifer Cold Hardiness*. F. J. Bigras and S. J. Colombo. Dordrecht, Kluwer Academic: 305-333.
- HÄNNINEN H. (2006). Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree Physiology* **26**(7): 889-898.
- HENIN J. M. & VERSTEIRT V. (2004). Abundance and distribution of *Xylosandrus germanus* (Blandford 1894) (Coleoptera, Scolytidae) in Belgium: new observations and an attempt to outline its range. *Journal of Pest Science* **77**(1): 57-63.
- INRA (2007). *Forêt et changement climatique. Conférence de presse • 27 février 2007. L'INRA au Salon International de l'Agriculture 2007*.
- JACTEL H. & BROCKERHOFF E. (2007). Pourquoi les forêts mélangées sont plus résistantes aux

attaques d'insectes ravageurs ? Communication dans le cadre du séminaire REGEFOR, Nancy, 26-28 juin 2007.

JACQUEMART A.-L., DECOCQ G., VANHELLEMONT M. & VERHEYEN K. (2010). Faut-il lutter ou vivre avec? Le cas de l'invasion par le cerisier tardif, *Prunus serotina*. *Silva Belgica* **117**: 16-22.

KRAMER K. (2001). Informatieblad over de gevolgen van klimaatverandering voor het beheer van bossen. Fact sheet for the project 'Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change.'

LAURENT C. & LECOMTE H. (2007a). La composition, l'évolution et l'exploitation de la forêt. *In: Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 184-195.

LAURENT C. & LECOMTE H. (2007b). Les services environnementaux et sociaux rendus par la forêt. *In: Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 196-201.

LAURENT C. & LECOMTE H. (2007c). La santé des forêts. *In: Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 202-209.

LAURENT C., PERRIN D., BEMELMANS D., CARNOL M., CLAESSENS H., DE CANNIÈRE C., FRANÇOIS L., GERARD E., GREGOIRE J.-C., HERMAN M., MARBAIX P., PEREMANS V., PONETTE Q., QUEVY B., RONDEUX J., SERUSIAUX E., VAN YPERSELE J.-P. & VINCKE C. (2008). *Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires*.

LEGAY M., MORTIER F., MENGIN-LECREULX P. & CORDONNIER T. (2007). La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série 3*: 95-102.

LECOMTE H., FLORKIN P., MORIMONT J.-P. & THIRION M. (1999). *La forêt wallonne. Etat de la ressource à la fin du 20ème siècle*.

LECLERCQ J. 1971. Les insectes de l'espace aérien des forêts : réalités et points de vue. *In: Productivité des écosystèmes forestiers, actes du colloque de Bruxelles* : 391-296. UNESCO.

LIEUTIER F. (2004). Host Resistance to Bark Beetles and Its Variations. *In: Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis*. F. Lieutier, K. R. Day, A. Battisti, J.-C. Grégoire and H. F. Evans, Springer Netherlands: 135-180.

LOBO A. & MAISONGRANDE P. (2005). *Stratified analysis of satellite imagery of SW Europe during summer 2003: the differential response of vegetation classes to increased water deficit*.

LUTERBACHER J., DIETRICH D., XOPLAKI E., GROSJEAN M. & WANNER H. (2004). European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. *Science* **303**(5663): 1499-1503.

MARBAIX P. & VAN YPERSELE J.-P. (2004). *Impacts des changements climatiques en Belgique*. Bruxelles, Greenpeace. 44p.

MARÇAIS B., L B.-D. & LE TAÇON F. (2000). Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts. *Revue Forestière Française Numéro spécial 2000*. Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture: 99-118.

MARÇAIS B. & DESPREZ-LOUSTAU M.-L. (2007). Le réchauffement climatique a-t-il un impact sur les maladies forestières? *Rendez-vous techniques de l'ONF Hors série n°3* : 47-52.

MENZEL A., SPARKS T. H., ESTRELLA N., KOCH E., AASA A., AHAS R., ALM-KÜBLER K., BISSOLLI P., BRASLAVSKÁ O. G., BRIEDE A., CHMIELEWSKI F. M., CREPINSEK Z., CURNEL Y., DAHL Å., DEFILA C., DONNELLY A., FILELLA Y., JATCZAK K., MÅGE F., MESTRE A., NORDLI Ø., PEÑUELAS J., PIRINEN P., REMIŠOVÁ V., SCHEIFINGER H., STRIZ M., SUSNIK A., VAN VLIET A. J. H., WIELGOLASKI F.-E., ZACH

- S. & ZUST A. N. A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* **12**(10): 1969-1976.
- MORIN X., AUGSPURGER C. & CHUINE I. (2007). Process-based modeling of species' distributions: what limits temperate tree species' range boundaries? . *Ecology* **88**(9): 2280-2291.
- NAGELEISEN L.-M. 2004. *Recrudescence des insectes sous-corticaux à la suite des extrêmes climatiques en 2003. Bilan de la santé des forêts en 2003*. Ministères de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et de la Ruralité. Département de la santé des forêts. France.
- NAKIĆENOVIĆ N., ALCAMO J., DAVIS G., DE VRIES B., FENHANN J., GAFFIN S., GREGORY K., GRÜBLER A., JUNG T. Y., KRAM T., LEBRE LA ROVERE E., MICHAELIS L., MORI S., MORITA T., PEPPER W., PITCHER H., PRICE L., RIAHI K., ROEHRL A., ROGNER H. H., SANKOVSKI A., SCHLESINGER M., SHUKLA P., SMITH S., SWART R., VAN ROOIJEN S., VICTOR N. & DADI Z. E. (2000). *Emissions Scenarios: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press. 599 p.
- NATIONAL CLIMATE COMMISSION (2010). *Belgian national climate change adaptation strategy*. 39p .
- PARRY M. L. (2000). *Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: the Europe ACACIA Project*. Norwich, UK, Jackson Environment Institute, University of East Anglia. 320 p.
- RASMONT P. (2005). Causes de la perte de biodiversité en Wallonie. L'eutrophisation globale des paysages. In: *Biodiversité. Etat, enjeux et perspectives. Chaire Tractebel-Environnement 2004. Comptes-rendu du Cycle de Conférences et du Forum*. L. Ph. Louvain, Université Catholique de Louvain: 95-100.
- RASMONT P. (2006). Causes de la pertie de la biodiversité en Wallonie. L'eutrophisation globale des paysages. In: *Biodiversité. Etat, enjeux, et perspectives. Comptes-rendus du Cycle de Conférences et du Forum*. P. Lebrun. Bruxelles, De Boeck Université: 95-99.
- ROOT T. L., PRICE J. T., HALL K. R., SCHNEIDER S. H., ROSENZWEIG C. & POUNDS J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* **421**(6918): 57-60.
- ROQUES A. & NAGELEISEN L.-M. (2007). Impact du réchauffement global sur les populations d'insectes forestiers. *Rendez-vous techniques de l'ONF Hors série n°3* : 40-46.
- ROSENHEIM J. A. & TABASHNIK B. E. (1991). Influence of Generation Time on the Rate of Response to Selection. *American Naturalist* **137**(4): 527-541.
- ROUAULT G., CANDAU J.-N., LIEUTIER F., NAGELEISEN L.-M., MARTIN J.-C. & WARZÉE N. (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci.* **63**(6): 613-624.
- SCHAR C., VIDALE P. L., LUTHI D., FREI C., HABERLI C., LINIGER M. A. & APPENZELLER C. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* **427**(6972): 332-336.
- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal. 126 p.
- STIGTER H. & DAS F. (1996). *Thaumetopoea processionea* in the Netherlands : expectations for 1996 (Lepidoptera : Thaumetopoeidae). *Entomologische Berichten* **56**(8): 133-134.
- STIGTER H., GERAEDTS W. H. J. M. & SPIJKERS H. C. P. (1997). *Thaumetopoea processionea* in the Netherlands : present status and management perspectives (Lepidoptera : Notodontidae). Proceedings of the 8th meeting of experimental and applied entomologists held in Utrecht on 13 December 1996. *Proceedings of the Section Experimental and Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society* **8**: 3-16.
- SYKES M. T. & PRENTICE I. C. (1995). Boreal Forest Futures - Modeling the Controls on Tree

Species Range Limits and Transient Responses to Climate-Change. *Water Air and Soil Pollution* **82**(1-2): 415-428.

THUILLER W., ALBERT C., ARAUJO M. B., BERRY P. M., CABEZA M., GUISAN A., HICKLER T., MIDGELY G. F., PATERSON J., SCHURR F. M., SYKES M. T. & ZIMMERMANN N. E. (2008). Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* **9**(3-4): 137-152.

USHER M. (2005). *Conserver la diversité biologique européenne dans le contexte du changement climatique*. Conseil de l'Europe. Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Strasbourg. 33 p.

VAN IERLAND E. C., DE GROOT R. S., KUIKMAN P. J., MARTENS P., AMELUNG B., DAAN N., HUIJNEN M., KRAMER K., SZÖNYI J., VERAART J. A., VERHAGEN A., VAN VLIET A., VAN WALSUM P. E. V. & WESTEIN E. (2001). *Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands*, NRP-CC.

VANDERHOEVEN S. & BRANQUART E. (2007). Les espèces exotiques envahissantes. *In: Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE: 606-611.

WEISSEN F. (1990). *Acidification du sol en Wallonie et moyens de restauration : conséquences pour les écosystèmes. Etat de l'Environnement wallon. Rapport final 1990*. Unité des Eaux et Forêts, UCL. Louvain-la-Neuve. 52p.

WEISSEN F. (1998). Le dépérissement chez le hêtre et l'épicéa au sein du massif ardennais : synthèse de recherches. *In: Santé et biodiversité en forêt wallonne. Actes des colloques, Région wallonne-DGRNE-DNF*: 25-31.

WERMELINGER B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* - a review of recent research. *Forest Ecology and Management* **202**(1-3): 67-82.